ISSN 1880-0637

平成２２年度

# 生研センター研究報告会

平成２３年３月１０日

独立行政法人　農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農　業　機　械　化　研　究　所

# 平成22年度　生研センター研究報告会開催次第

１．開催日時　　平成２３年３月１０日（木）
２．場　　所　　大宮ソニックシティ「小ホール」
　　　　　　　　(さいたま市大宮区桜木町 1-7-5　TEL：048-647-4111(代))
３．日　　程

| | |
|---|---|
| １）開　　会 | 10:00 |
| ２）挨　　拶 | 10:00～10:10 |
| （１）(独）農業・食品産業技術総合研究機構 | |
| （２）農林水産省 | |
| ３）情勢報告 | 10:10～10:40 |
| （１）農林水産省 生産局 | |
| （２）農林水産省 農林水産技術会議事務局 | |
| ４）生研センターの研究内容報告 | 10:40～12:20 |
| （１）基礎技術研究部 | |
| （２）生産システム研究部 | |
| （３）園芸工学研究部 | |
| （４）畜産工学研究部 | |
| （５）評価試験部 | |
| （６）特別研究チーム（エネルギー） | |
| （７）特別研究チーム（ロボット） | |
| （８）特別研究チーム（安全） | |
| 《　昼　食　》 | 12:20～13:20 |
| ５）個別研究報告 | 13:20～17:05 |
| （１）第４次農業機械等緊急開発事業の成果 | |
| ①イチゴ収穫ロボット | |
| ②加工・業務用キャベツ収穫機 | |
| ③高精度てん菜播種機 | |
| ④高機動型果樹用高所作業台車 | |
| ⑤果樹用農薬飛散制御型防除機 | |
| ⑥玄米乾燥調製システム | |
| ⑦高精度高速施肥機 | |
| 《　休　憩　》 | |
| （２）水稲収穫作業における混入防止技術の開発 | |
| （３）高効率ネギ調製機の開発 | |
| （４）農業機械の安全対策に関する研究 | |
| ６）総合討議 | 17:05～17:30 |
| ７）閉　　会 | 17:30 |

# 目　　　次

# イチゴ収穫ロボット

特別研究チーム（ロボット）　林茂彦、山本聡史、齋藤貞文、
小林研、吉田啓孝（現退職）
生産システム研究部　重松健太
共同研究実施会社　エスアイ精工株式会社
株式会社前川製作所

## はじめに

これまで果菜類を対象とした収穫ロボットの研究が国内外で精力的に進められてきた[5]。我が国では1980年代より京都大学を中心にトマト収穫ロボットの研究が始まり、その後開発したロボット収穫技術を他の果菜類に応用するための研究開発が進み、ミニトマト[6]、キュウリ[1]、ナス[7]、イチゴなどを対象とした収穫ロボットが開発された。イチゴに関しては、土耕栽培を対象にしたロボット[3]のほか、高設栽培を対象としたロボット[2]が開発されているものの、実用化技術までには至っていない。

我が国のイチゴ栽培は、土耕を中心とした促成栽培が一般的である。しかし、近年作業姿勢の改善や果実品質の向上の観点から高設栽培の普及が進み、これまで様々な方式の高設栽培[13]が開発されてきている。高設栽培では一般に果実の着果範囲が小さく、葉などの障害物が比較的少ないという特徴があり、収穫を自動化するという視点から見れば、これらは非常に有利な特徴といえる。高設栽培の普及面積は485ha程度（2007年データ）と報告され、今後も増加傾向にある。この高設栽培技術の一つの発展方向として、早生品種や四季成り品種を活用した大規模施設での周年生産システムの構築[9]が期待されるなか、規模拡大のネックとなっている収穫・パック詰め作業の省力化が求められている。

このような状況のなか、生研センターは民間メーカと共同で高設栽培を対象としたイチゴ収穫ロボットの開発に取り組んできた。ここでは、開発した収穫ロボットの基本機構と性能について紹介する。

## １．収穫ロボットに求められる技術

### １）要素技術

イチゴを含む果菜類をロボットで収穫するための要素技術は、①センシング技術、②マニピュレーション・ソフトハンドリング技術、③走行技術と考えられる。果菜類は果実が順次実っていくため、選択収穫が基本となる。そのためには収穫するかしないかを判断するセンシング技術が重要である。キュウリやナスなどは長さが判定基準になるが、イチゴの場合、色み具合を判定する必要があり、画像処理技術が広く用いられている。次にソフトハンドリングに関しては、対象作物にあった採果ハンドの開発が求められる。イチゴの場合は果皮が柔らかいため、取り扱いに注意が必要である。さらに、ハウス内を移動して収穫を行うための走行技術も必須である。

### ２）開発構想

図１にイチゴ収穫ロボットの開発構想を示す。これまで研究開発された果菜類の収穫ロボットの技術的課題として、収穫適期の果実を 100% 収穫することは困難、収穫速度が遅い、果実を傷める、不整地での安定走行が困難、導入コストが高い、などが指摘されてきた。これらの課題に対処するとともに、イチゴの生産現場で稼働するロボットを開発するため、以下のような開発コンセプトを設定した。果実を 100%収穫することは難しいため、ロボットは収穫容易な果実の

図１ イチゴ収穫ロボットの開発構想

みを確実に収穫する。収穫速度が遅いため、ロボットは夜間ゆっくり稼動する。果実が傷まないように果柄を切断する採果方式を採用する。不整地走行技術の組み込みは難しく、レール等の軌道を利用する。つまり、収穫ロボットは作業者が寝ている夜間に収穫容易な果実のみをゆっくり確実に収穫し、朝になってロボットが収穫できなかった果実を、作業者が収穫するという協働作業体系を想定し開発を進めた。

## ２．ロボット実証ハウスと吊り下げ式高設栽培ベッド

収穫ロボットの実証試験は、6×48m の鉄骨ハウスで行っている。間口近くに収穫ロボットが横移動するための枕地スペースを広く取ってある（図 2)。このハウスには 3m 毎に水平梁（縦 75mm×横 45mm×肉厚 2.3mm）があり、この梁から高設栽培ベッドが吊り下がっている（図 3)。栽培方式は「らくちんシステム」[13]に準じている。栽培ベッドの数は 6 列で、3 列は水平梁に固定されているが、残りの 3 列は水平梁に沿って左右に移動できる構造である[11]。収穫ロボットが進入する際には自動で栽培ベッドが動き、ロボットの通過に十分な通路幅（90～95cm 程度）を確保する（図 4)。また、作業者用の操作スイッチも通路両端にあり、作業者が定植や防除、収穫、栽培管理を行うときは、栽培ベッドをマニュアル操作で左右に移動させることもできる。

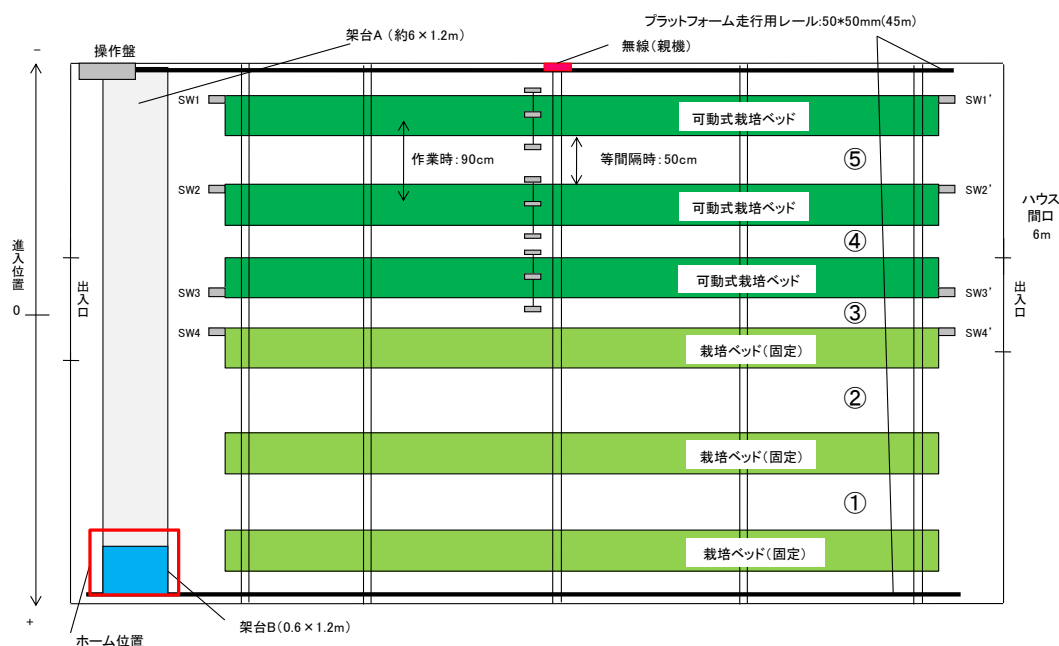



**図 2 ロボット実証ハウス**

収穫ロボットが通路に侵入するときは、後述する移動プラットフォームからの信号により、駆動モータ(34W)が正転または逆転する。駆動モータに連結されている回転軸が回転し、ラック・ピニオン機構により回転軸および軸受けが左右に移動する。この移動により軸受けに固定された梁走行機構、および下垂する高設栽培ベッドも一体として同時に左右に移動する。イチゴの生育に伴い着果位置が変化しても、通路幅を調整することで収穫ロボットと果実の距離をほぼ一定に保てるという特徴がある。

吊り下げ式高設栽培ベッドの左右可動装置のもう一つのメリットは、単位面積当たりの収量増であ

る。間口 6m のハウスにおいて、左右可動装置では最大７列（慣行で５列）設置できる。また、隣の栽培ベッドの梁走行機構を連結させることでコスト削減する方法も提案されている[4]。

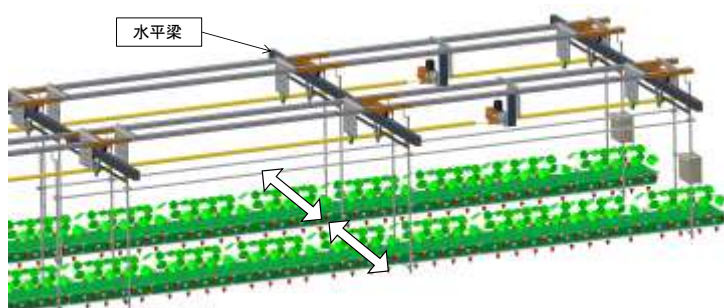



図３ 吊り下げ式高設栽培ベッド

図４ 栽培ベッドの左右可動

３．収穫ロボットの開発

イチゴを摘み取る場合、作業者は通路を移動しながら色づいた果実を見つけ、果実を包み込むようにして摘み取る。葉の陰に隠れている場合でも、葉を少しよけて果実を探す。この動作をそのままロボットで実現することは非常に困難である。そこで、収穫ロボットは果実を水平方向から見て、着色度の判別を行い直線的に果実に接近する動作を実行する。果実に接近する時は、視覚認識を行わず目標果実の位置に高速で移動し採果を行う。本研究では、視点位置（カメラ位置）および接近方法の異なる 2 方式の収穫ロボットを開発した。通路側収穫ロボットは、作業者と同様にエンドエフェクタが通路側から果実に接近して採果する方式であり、内側収穫ロボットは、マニピュレータを吊り下げ式栽培ベッドの下に配置させ、内側から接近採果する方式である。

１）通路側収穫ロボット

通路側方式の収穫ロボットは、円筒座標型マニピュレータ、エンドエフェクタ、マシンビジョンおよびトレイ収容ユニットから構成される。マニピュレータは 3 自由度（関節数 : 3）で、旋回、上下および前後に動作する（図 5）。エンドエフェクタはマニピュレータの先端に取り付けられ、果柄を把持切断するフィンガ、および果実把持を検知する光電センサからなる。光電センサは採果した後に前後進して果実の把持をチェックする。マシンビジョンは LED ５灯と CCD カメラ 3 台（ステレオカメラ 2 台、中央カメラ 1 台）から構成される。両側のカメラ 2 台によりステレオビジョン処理が行われ果

図５ イチゴ収穫ロボット（通路側収穫）

実の3次元位置の測定と着色度の判定を行う。中央カメラにより果柄を検出して、その傾きを推定する。

収穫ロボットは、走行部の前進動作で通路右側の果実を順次収穫し、通路終端で機体を180°旋回させ、後進動作で通路左側の果実を収穫する。走行部が停止した状態で採果動作を行う。その動作の流れを以下に説明する。まず2台のステレオカメラにより果実の3次元位置を計測するとともに、それぞれの果実の着色度を推定する。対象となる果実が収穫適期（着色度80%以上）であれば、エンドエフェクタを対象果実に正対させ、中央カメラの画像から果柄の検出を行う（図6)。対象果実の上部に関心領域を設定したのち、その領域内の果柄を検出し傾斜角度を計算する。そして、エンドエフェクタは、その傾斜角度に応じて3段階の角度に回転したのち、フィンガ先端の隙間に果柄が入るように接近する（図7)。フィンガで果柄を切断し果実を把持していることを確認してトレイに収容する。現在の停止位置において、すべての認識果実に対してこの一連の採果動作を繰り返す。これらの処理が終わると、収穫ロボットは200mm前進し、次の果実の採果動作に移る。

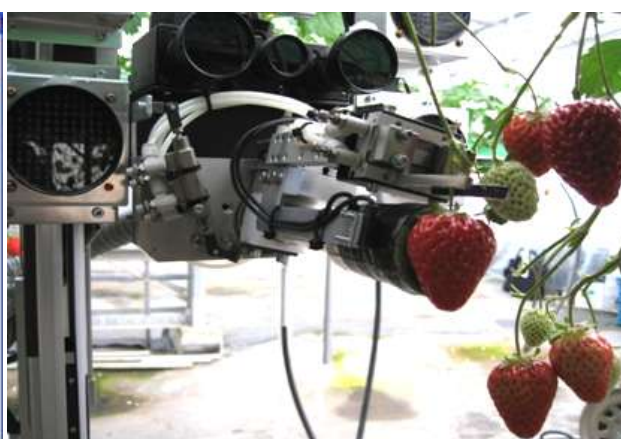



**図6 ロボットの操作画面（果柄の検出）**　　**図7 採果動作（通路側収穫）**

### 2）内側収穫ロボット

イチゴは数個の果実から果房を形成するが、最初に肥大して着色するのは頂果である。続いて2番果、3 番果が肥大する。通路側からみると頂果の周りには未熟果が着果している状態となる。したがって、通路側より内側からの方がイチゴ果実を見つけやすいことが知られている。この特徴を生かして、通路側および内側の両側から果実に接近可能なロボット[10)]が開発された。このロボット開発で得た知見を生かし、小型化軽量化設計を施した内側収穫ロボットを試作した。これは、多関節マニピュレータ（4自由度、リニアスライダ1軸を含む)、エンドエフェクタ、マシンビジョン、トレイユニットから構成される（図8)。マシンビジョンとエンドエフェクタを2組配置することにより第1リンクは旋回しない構造である。各機構の小型化により吊り下げ式栽培ベッドのほぼ真下を走行でき、第 2～4 軸の回転によりエンドエフェクタが水平になるように制御して、左右両側の果実を採果する方式である（図9)。

マシンビジョンが第1リンク上部（ステレオカメラ）とエンドエフェクタ先端（ハンドアイカメラ）に取り付けられており、ステレオカメラにより撮影した画像を解析し、果実位置の認識と着色度の推定を行う。計算した果実の3次元位置の手前にエンドエフェクタを動作させ、ハンドアイカメラを用

いて果柄を検出し切断ポイントを決定する。左右両側にマシンビジョンを備えているため、採果順序は左右の方向とは関係なく一番近い果実をターゲットに採果動作を行う。また、内側収穫ロボットは小型化を優先した設計であるため、トレイ収容ユニットはなく、平置きされたトレイに収穫果実を順次並べてゆく。

図 8 イチゴ収穫ロボット(内側収穫)

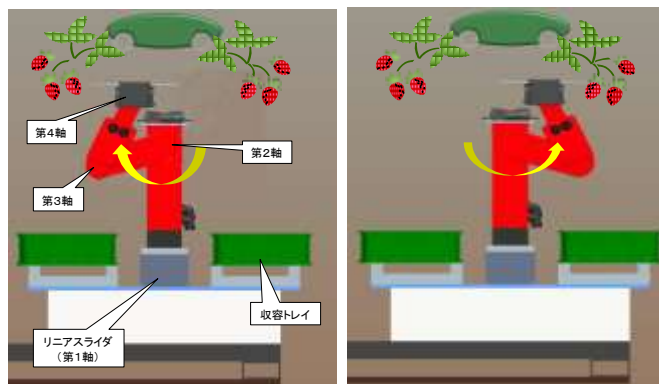



図 9 採果動作(内側収穫)

３）移動プラットフォームの開発と実証ハウスでの収穫動作

収穫ロボットの走行部となるのが、移動プラットフォームである。長さ 5.7m×幅 1.2m の大きさで、独立して可動する架台Ａと架台Ｂから構成される。架台Ｂ（0.6m×1.2m）には開発した 2 方式の収穫ロボットを搭載することができる（図 10)。架台Ａの両端の駆動輪によりレール上を走行して通路方向に動き、架台Ｂはそれと直角方向、つまり畝移り方向に動く。両者の動きを組み合わせることで収穫ロボットをハウス全体に移動させることができる。

収穫ロボットを載せた架台Ｂは、図 2 に示すホーム位置を起点に動作を開始し、枕地走行を行い指定された通路を通路終端まで往復した後、ホーム位置に戻る。その後、次に指定された通路に進入し、往復した後にホーム位置に戻るという動作を繰り返す。なお、内側収穫ロボットの場合は通路ではなく栽培ベッドの真下を走行する。収穫果実の詰まったトレイと空のトレイの交換は、このホーム位置で行う。また、収穫ロボットとの通信はデジタル信号により行うとともに、ロボット側に駆動用の 100VAC を供給する。

図 10 移動プラットフォーム

４．収穫性能

ロボット実証ハウスにおいて、収穫ロボットの性能試験を実施した。着色度の判定には品種による着色過程の違いが大きく影響し、赤色部と緑白色部の境界が鮮明な品種（例えば、‘あまおとめ’）では良好な判定結果が得られた [8)]。また、収穫成功率は、収穫時期および果序が進むにつれて上昇する傾向が見られ、果房の入れ替わる前に高くなり、入れ替わる時期に低下した [12)]。

通路側収穫ロボットの採果処理時間は8.8s/果で、収穫成功率は60～66%であった（2010年データ）。着色度の判定ミスにより収穫適期前の果実を採果する場合が見られた。一方、内側収穫ロボットの採果時間は11.9s/果で、収穫成功率は40%弱であった。これは、ハンドアイカメラによる果柄検出機能が不十分であったことが主な原因と推察され、果柄検出アルゴリズムを改良して室内実験を行った結果70%以上の成功率が得られた(2010年データ)。

## おわりに

イチゴ収穫ロボットと移動プラットフォームを組み合わせることにより、ハウス内を移動し収穫適期の果実を選択的に収穫するロボット技術が開発された。今後ソフトウェアの改良により成功割合の向上は期待できるものの、作業者と同等レベルのロボットの出現には時間がかかることから、作業者との協働作業を念頭に置いた作業体系を組む必要がある。また、イチゴ収穫ロボットは果実を自動で収穫することのほか、果実の周りの画像、収穫した場所や時刻などの情報も一緒に獲得できる。そして、それらの情報を大量に扱い処理できるという特徴を持っている。これらの情報の収集解析と、さらにそれを利用した生育診断・意思決定などの機能強化は今後の課題である。

## 参考文献

１）有馬誠一ら：キュウリ収穫ロボットの研究（第3報）．農機誌 57(1), 51-58. 1995
２）有馬誠一ら：高設栽培用イチゴ収穫ロボット（第2報）．植物工場学会誌 15(3), 162-168. 2003
３）崔永杰ら：マシンビジョンによる内成り栽培用イチゴ収穫ロボットの研究（第2報）．農機誌 69(2), 60-68. 2007
４）近中四農研センター研究成果情報：イチゴの密植栽培に対応した吊り下げ式高設栽培用ベッド間隔調節装置． http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2009/12wenarc/wenarc09-09.html
５）近藤直ら：農業ロボット（Ⅱ）―機構と事例―，コロナ社，242pp. 2006
６）韓麗婕ら：エンドエフェクタに三次元視覚センサをもつミニトマト収穫ロボット（第2報）．農機誌 62(2), 127-136. 2000
７）林茂彦ら：V字型整枝されたナスを対象としたロボット収穫システム（第2報）．植物工場学会誌 15(4), 210-216. 2003
８）Hayashi, S. et al.：Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. Biosystems Engineering, 105(2), 160-171. 2010
９）望月龍也：イチゴ産業の革新に向けた技術開発の動向． 施設と園芸 129, 4-8. 2005
10）中尾真梨子ら：高設栽培いちご収穫ロボットにおける収穫アプローチ方向の検討． Robomec2010 講演要旨集(DVD)，1A1-A20. 2010
11）生研センター研究成果情報：イチゴの高密植栽培が可能なつり下げ式高設栽培ベッド可動装置. http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Seika/h2008.htm
12）重松健太ら：イチゴ促成栽培における収穫ロボットの周年利用に関する研究． 農機誌 71(6),

106-114. 2009

13）高市益市：イチゴの高設栽培ベンチ．施設園芸ハンドブック，施設園芸協会，pp246-251. 2003

# 加工・業務用キャベツ収穫機

園芸工学研究部　深山大介、青木　循、矢野悠紀、宮崎昌宏

## はじめに

近年、惣菜や弁当、ファミリーレストランなど、中食・外食化と言われる消費構造の変化に伴い、家庭で生鮮野菜を調理することが減少しており、今後もこの傾向が進むと見込まれている。この消費構造の変化により、中食、外食、加工等に使用される野菜の割合が増えており、中でもキャベツは、平成 17 年度には全国生産量 136 万 t のうち、加工・業務用の消費割合が 48%に達しており、加工・業務用途での消費割合が高い品目になっている。家庭消費用キャベツは外観が重視されるのに対し、加工・業務用キャベツは、歩留まりが良く、大玉のキャベツが加工業者などの実需者によって求められる。このように、加工・業務用キャベツは従来の生食用キャベツとは基本的な特性が異なるものであり、栽培方法も含めて、加工・業務用キャベツを安定的に出荷できる産地の育成が求められている。

一方、北海道の畑作地帯では、麦・てん菜・豆類・バレイショの畑作４品目の輪作体系の中に、大規模な野菜作を取り入れ、経営の安定化と高収益化を図りたい要望がある。特にキャベツは前後作に特定の作物を忌避することが少なく、また栽培期間が比較的短いために小麦の前作にも後作にもなりうることなどから、土地利用率を高める有用な作物と考えられる [1]。しかし、キャベツが野菜の中では相対的に省力的な作物とはいえ、投下労働時間は 40～50h/10a を要し、特に人手に頼っている収穫作業は投下労働時間の 70～80％程度を占める。育苗や移植、管理作業および共同調製出荷施設が機械化・省力化されている現在、収穫作業の機械化は大規模畑作地帯へのキャベツの導入のため欠かせない課題となっている。

そこで、生研センターでは、大規模畑作地帯に導入できる高能率な収穫作業技術として、調製・選別作業を別工程とする加工･業務用キャベツ収穫機の開発を行ったので､その概要について報告する。

## １．開発の方向性と目標

キャベツの収穫機械化の方向性としては、慣行の手作業と同様にほ場内で切取・調製・箱詰めまでの作業が完結する「同時作業方式」と、ほ場内では収穫機によりキャベツの切取と搬出を行い、調製・箱詰めは出荷施設等で別途行う「分離作業方式」の 2 通りがある [2]｡「同時作業方式」は、慣行の収穫・調製・出荷システムへの適応性が高い特徴があり、「分離作業方式」は、ほ場での作業能率が格段に高くなる特徴があげられる。大規模畑作地帯において、キャベツを含めた 4～5 年輪作体系を確立するためには、普通畑作物と同等の 10ha 程度の作付面積が必要となり、収穫作業には 30～50ａ/日の処理能力が求められる。2001 年に実用化された新型キャベツ収穫機（HC10、図１）は、1 人または 2 人作業による「同時作業方式」だけでなく、3 人組作業体系により、伴走する運搬車に搭載するスチールコンテナにキャベツを収容する「分離作業方式」も可能であったが、その作業能率は 1 日あたりおよそ 10a であった。そこで収穫作業能率が 30～50ａ/日という高能率作業を達成するため､「分離作業方式」による、新たな多条収穫やスチールコンテナ等への自動収容などを特徴とするキャベツ収穫機の開発を目指した。

平成 20 年度より開始した加工・業務用キャベツ収穫機の開発にあたっては、①２条同時収穫、②キャベツをスチールコンテナに収容する、③調製作業を共同出荷施設で行う、以上の３点を基本仕様

とした。これにより従来のキャベツ収穫機（HC10）の４倍の作業能率、すなわち 10a あたり作業時間が２時間以下、１日あたり作業可能面積 40a 以上を目標の性能とした。なお、調製作業を行う共同出荷施設には、図２に示すキャベツ調製ラインが備わっていることを前提とする。キャベツ調製ラインは、生研センターが 2002 年に開発したものである。この調製ラインは、ライン上のトレイに１個ずつ切り口を上にして供給されたキャベツを、球高測定、茎部切断し、その後、切断面の画像処理により必要に応じて再切断する。最大１秒に１個の処理速度で調製・選別することができる[3)]。

図１　従来のキャベツ収穫機　HC10
（緊プロ事業により 2001 年実用化）

図２　キャベツ調製ライン
（2002 年開発）

## ２．加工・業務用キャベツ収穫機の概要

開発した加工・業務用キャベツ収穫機を図３に、各部の機構概略を図４，主要諸元を表１に示す。開発機は、ガソリンエンジンを動力とする小型の乗用機で、刈り取り機構と搬送機構で構成される。適用できる栽培条件は、条間が 60～66cm、畝高さは 20cm 以下である。

図３　加工・業務用キャベツ収穫機

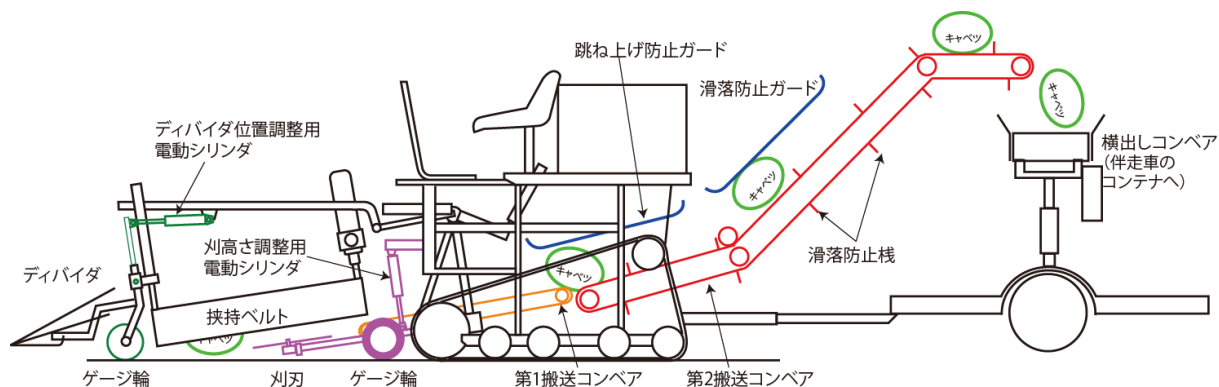



図４　機構概略図

表１　諸元表

| | |
|---|---|
| （機体概要） | |
| 機体寸法 | 全長 7.1m×全幅 1.7m×全高 2.3m<br>（横出しコンベア用トレーラ使用時） |
| 機体質量 | 1200kg |
| エンジン | 12kW、ガソリン |
| 最小回転半径 | 5.8m |
| （適用条件） | |
| 条間 | 60～66cm |
| 畝高さ | 最大 20cm |
| （性能） | |
| 作業速度 | 0.3m/s |
| 作業能率 | 10a あたり２時間以下 |

**１）刈り取り機構**

刈り取り機構は、ディバイダ、挟持ベルト、回転刃、ゲージ輪で構成される。先端部の３個のディバイダ（図５）は、刈り取り作業中、２条のキャベツの外葉を下からすくい上げるように位置し、傾いたり倒伏した結球部を直立またはやや前傾するように姿勢を補正する。ディバイダにより引き起こされたキャベツは、挟持ベルトにより左右からしっかりと保持された状態のまま２枚の回転刃で茎部が切断される。本機構はキャベツを引き抜かず立毛したままで切断する点に特徴がある。挟持ベルトにはテンションローラーを取り付けており、キャベツの大きさに応じてしっかり保持することができる（図６）。また、挟持ベルトの速度は、切断面を水平にするため、走行速度より 10%倍程度速くしている。なお、前述の１条用のキャベツ収穫機 HC10 の刈り取り機構は、掻込みホイールと搬送チェーンでキャベツの茎部を挟持しながら引き抜いて、姿勢安定板で結球部の姿勢を矯正しつつ回転刃によって根部と茎葉部の切断を行う。切断高さや残す外葉数をコントロールしやすい特徴があるが、構造が複雑で、２条用に適用することはできなかった。

図５ディバイダ

図６　挟持ベルト

軟弱な圃場では左右クローラの接地面に高低差ができ、収穫機が傾いた状態での刈取作業になり、左右の刈り高さが異なる。そのため、左右それぞれの刈刃がゲージ輪で上下に位置変更できる構造とし、左右２条のキャベツ茎部の切断位置を揃えることができる（図７）。さらに、切断位置（刈刃の上下位置）の調整は電動化されており、収穫作業中でも運転席から容易に調整可能である。

図７　刈刃およびゲージ輪

２）搬送機構

加工・業務用キャベツ収穫機の搬送機構は、刈り取り機構の後方に位置する第１搬送コンベア、それに続く傾斜部分の第２搬送コンベア、さらに伴走する運搬車等が積載するスチールコンテナにキャベツを横送りする横出しコンベアで構成される（図８）。第１・第２搬送コンベアともに、バーコンベアとなっており、第２搬送コンベアには滑落防止桟が等間隔に設置されている。

横出しコンベアは長さ 3.4m、幅 35cm のベルトコンベアであり、収穫機本体が牽引する２輪式の小型トレーラ上に設置される（図９）。キャベツは、第２搬送コンベアの後端部から横出しコンベア上に落下し、収穫機の横を走る伴走車にキャベツを積込む。横出しコンベアは、水平面上を左右に回転できるため、キャベツの積込む向きは左右両方向に対応できる。また、コンベアを機体真後ろへ向ければ、中割り作業にも対応できる。横出しコンベアは、収穫機本体の油圧発生装置による油圧モータで駆動される。

３）その他

第１搬送コンベアと第２搬送コンベアの接続部分にキャベツが滞留し、第２搬送コンベアの滑落防止桟でキャベツが跳ね上げられ損傷する現象が確認されたため、跳ね上げ防止ガードを取り付けて円滑に搬送されるようにした。同様に、第２搬送コンベアの傾斜部分には滑落防止ガードを備え、キャ

ベツが傾斜部分のコンベア上を滑落することを防いでいる。これらの対策により、キャベツの搬送経路上での傷付きを極力低減するようにしている。また、隣接畝のキャベツ結球部の損傷を防止するため、ゲージ輪やクローラにはガードを設けている。

図８　搬送コンベア

図９　横出しコンベア

### ３．開発機の性能

#### １）作業能率

開発機は、収穫したキャベツを伴走車のスチールコンテナへ収容するため、伴走作業方法が作業能率に大きく影響する。そこで、伴走作業方法として３人組作業の「ホイールローダ伴走方式」と４人組作業の「トレーラ伴走方式」について作業能率を調査した。ホイールローダ伴走方式は、スチールコンテナ（W1700×D1000×H800mm）を２個搭載したホイールローダが収穫機の横を走行する（図10)。作業中、収穫したキャベツで一杯になったコンテナは、中断位置の直近に降ろしてから、コンテナ集積場所に予め用意しておいた空コンテナを取りに行く。ほ場の収穫が全て終わると、ホイールローダはほ場内に残置されたコンテナを回収し、ほ場外へ搬出する。

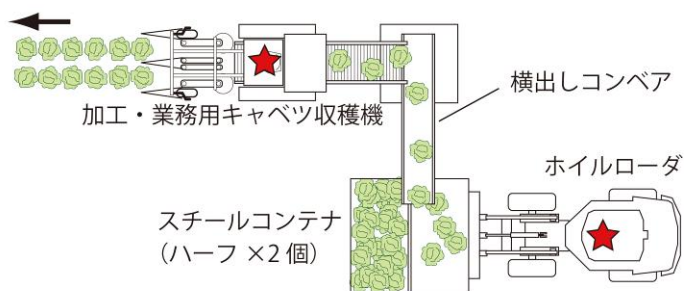



図 10　ホイールローダ伴走方式（★印は作業者）

トレーラ伴走方式は、トラクタが牽引するトレーラ上に、スチールコンテナを４個積載し、同様に収穫機の横を伴走する（図 11)。コンテナが一杯になった場合は、その都度コンテナの集積場所へ移動し、フォークリフトでコンテナを交換する。また、トレーラ上には、４個のスチールコンテナに均

等にキャベツが収容されるように補助作業者が１人必要となる。どちらの伴走作業方法も、ホイールローダやトレーラを２台使用することでコンテナの交換時の作業中断時間を短縮でき、作業能率の向上につながる。また、ほ場内または隣接地に空コンテナを集積するスペースを確保する必要がある。

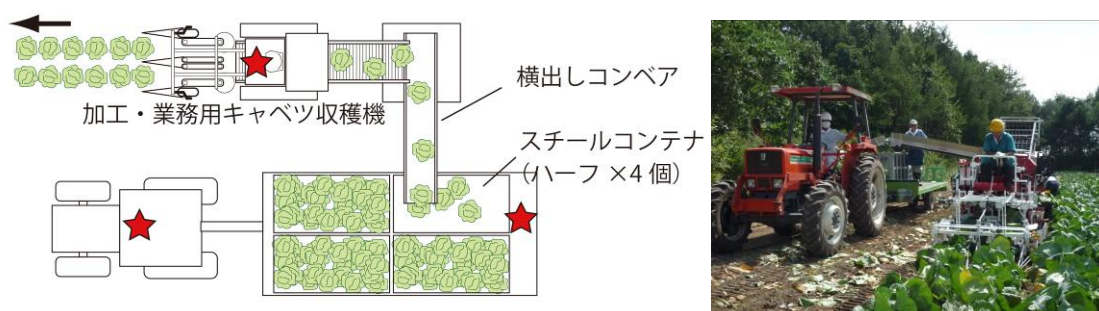



図 11　トレーラ伴走方式（★印は作業者）

現地試験は、2010 年 9 月に北海道鹿追町内の農家ほ場にて行った。供試ほ場は、両端に 10m ずつの枕地が確保されており、畝の長さは 115m であった。供試ほ場の入り口付近をコンテナの集積場所とした。両方式による作業能率及び作業時間内訳の調査結果を表２に示す。ホイールローダ伴走方式は 1.55h/10a となり、開発目標の 2h/10a を大幅に短縮する良好な結果を得た。トラクタ伴走方式は 2.45h/10a であった。ホイールローダ伴走方式は、収穫中のコンテナの交換と収穫後のほ場外搬出を迅速に行える特徴があった。また、ホイールローダはトラクタ牽引トレーラより旋回性やほ場内での取り扱い性に優れることも、作業時間が短縮された要因と考えられる。なお、トレーラ伴走方式では、4 個のコンテナに均等にキャベツを収容することが難しく、作業中にトレーラ上の補助作業者が頻繁に手作業でキャベツを移しかえなければならなかった。

表２　加工・業務用キャベツ収穫機の作業能率

(a)　作業時間内訳

| 伴走作業方式 | 作業時間内訳　(%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 刈取り | 移動<br>旋回 | 荷下し | コンテナ<br>搬出 | 調整 | その他 |
| ホイールローダ伴走 | 48 | 7 | 9 | 37 | − | − |
| トレーラ伴走 | 32 | 42 | 13 | − | 5 | 8 |

(b)　作業能率

| 伴走作業方式 | 伴走車<br>(台) | 作業速度<br>(m/s) | 作業者数<br>(人) | 10a あたり<br>作業時間 |
|---|---|---|---|---|
| ホイールローダ伴走 | 2 | 0.31 | 3 | 1.55h |
| トレーラ伴走 | 2 | 0.31 | 4 | 2.45h |

### ２）収穫精度

生研センター附属農場にて基礎試験機を用いて、刈高さと結球部の損傷状態、および収穫後外葉枚数の関係を調査した。刈高さが高くなると、結球部の斜め切りや傷の発生割合が高くなり、収穫後外葉枚数は少なくなる傾向があった（表３）。また、設定刈高さ３cmでは、設定刈高さ５cmに比べて切断後の外葉枚数のばらつきは少なかった（図 12)。

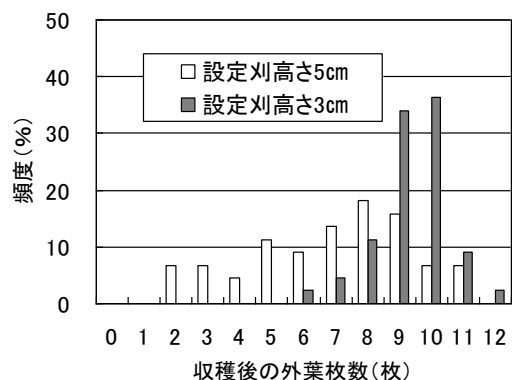



図 12 刈高さ別の収穫後の外葉枚数分布

表３　刈高さと収穫精度および収穫後外葉枚数

| 試験日 | 作物条件 | | | 設定 | 結球部の損傷 | | 収穫後 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 外葉枚数 (枚) | 結球部 質量(kg) | 倒伏 割合*1(%) | 刈高さ (cm) | 斜め切り (%) | 傷 (%) | 外葉枚数 (枚) |
| 2008.12.19 | 13.7 | 1.2 | 0.5 | 3 | 2.3 | 2.3 | 9.5 |
| | | | | 5 | 9.1 | 6.8 | 6.9 |
| 2009.1.8 | 10.8 | 1.5 | 9 | 3 | 0 | 2.1 | 9.1 |
| | | | | 4 | 6.7 | 6.7 | 7.3 |

*1　結球部が畝間まで倒伏しているものの割合

次に、2009 年および 2010 年に北海道鹿追町農家ほ場での現地試験の結果を表４に示す。作物条件と収穫精度に着目したが､2010 年度の試験ほ場ではキャベツの倒伏が極端に多かったため両者に明確な傾向は認められなかった。しかし、結球部質量が軽く、茎長が短く、また倒伏が少ない場合に損傷あるいは斜め切りが少ない傾向があった。さらに、結球部が畝間にまで倒伏している場合、収穫機の機体が隣接する畝の結球に接触し、傷つけていることも観察された。いずれにしても、収穫精度は結球部の倒伏など作物条件に大きく影響を受ける結果となった。

表４　作物条件と収穫精度 4)

| 試験日・ほ場 | | 品種 | 作物条件 | | | 収穫精度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 質量 (kg) | 茎長 (mm) | 倒伏*1 (%) | 損傷 (%) | (斜切り)*2 (%) |
| 2010 | 9/4, 農家Ａ | さつき女王 | 1.8 | 55 | 87 | 76 | 8 |
| | | おきな | 1.9 | 64 | 58 | 80 | 12 |
| | | YR 冬系 609 | 1.4 | 43 | 29 | 22 | 10 |
| | | 天空 | 2.1 | 57 | 23 | 76 | 14 |
| | 10/6, 農家Ａ | おきな | 2.9 | 61 | 79 | 81 | 17 |
| 2009 | 7/21, JA | さつき女王 | 0.9 | 16 | 0 | 20 | 5 |
| | 9/10, 農家Ａ | さつき女王 | 1.4 | 49 | 77 | 65 | 36 |
| | 9/10, 農家Ｃ | おきな | 1.3 | 43 | 0 | 14 | 13 |

*1　結球部が畝間まで倒伏しているものの割合
*2　斜切りは、損傷の内数

## ４．雪中貯蔵キャベツ収穫機

北海道和寒町周辺で主に栽培されている雪中貯蔵キャベツの収穫は、刈取り後、ほ場にキャベツをそのまま列状に並べるが、降雪前の極短時間に刈り取り作業を終える必要があり、従来にない高能率な収穫機が求められている。開発した加工・業務用キャベツ収穫機の刈取部はその要望に十分応える機能を有していることから、搬送部を取り外し、作業速度を更にアップした雪中貯蔵用キャベツ収穫機（図 13）の開発も進めている。現状では作業速度は 0.4m/s であるが、結球部の損傷は 9%、斜切りは 6%程度と、比較的良好な結果を得ている（表５）。今後、作業速度の向上と、現地適応性の解明を進める予定である。

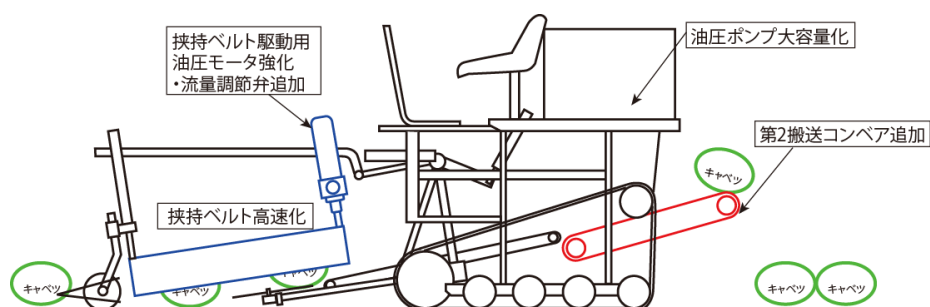



図 13　雪中貯蔵キャベツ収穫機の概略と高速作業対策

**表５　収穫精度（雪中貯蔵キャベツ収穫機）**

| 試験日、場所 | 品種、条間×株間 | 作物条件 | | | | | 作業速度 | 収穫精度 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 結球質量 | 茎長 | 倒伏程度(%) | | | (m/s) | 損傷球 | 損傷の内、斜切 |
| | | (kg) | (mm) | 1 | 2 | 3 | | (%) | (%) |
| 11/9 和寒町 | 冬駒、66×45cm | 2.5 | 65 | 56 | 25 | 19 | 0.3 | 6 | 4 |
| | | | | | | | 0.4 | 9 | 6 |

## ５．おわりに

以上述べてきたように、２条収穫、スチールコンテナ収容、調製別工程化を特徴とする加工・業務用キャベツ収穫機を開発し、従来にない高い作業能率を有することを明らかにした。一方で、収穫精度は作物状態に大きく影響されることも分かり、普及に向けた課題となった。また、開発の進展と共に産地から出されてきた刈取精度と所用労力に対する要望に答えるため本機の開発で得られた多くの知見を活かしつつ、新たな高能率キャベツ収穫機の開発に今後も取り組む予定である。

なお、加工・業務用キャベツ収穫機の開発に当たっては、マメトラ農機株式会社、鹿追町農業協同組合、鹿追および和寒町内キャベツ生産者の方々、十勝農業試験場および北海道農業研究センターの関係各位には多大なご協力とご助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

## ６．参考文献

１）八谷　満（2003)、大規模畑作地帯へのキャベツ機械収穫作業体系化の導入とその評価、農業および園芸 78(1)：66-72

２）天野哲郎（2006)、大規模畑作経営における野菜作の展開とキャベツ機械収穫システムの経営評価、農機誌 68(1)：9-13

３）貝沼秀夫ら（2002)、キャベツ調製選別ライン、平成 14 年度主要研究成果（共通基盤・作業技術、野菜茶業・野菜栽培生理)〔技術・普及〕

# 高精度てん菜播種機の開発

園芸工学研究部　市来秀之、八谷　満、
Nguyen Van Nang
基礎技術研究部　吉永慶太
愛媛大学農学部　上加裕子
共同研究実施会社　サークル機工(株)

## はじめに

てん菜は、北海道の畑作地帯の約16%において作付される作物であり、同地域での農業経営の安定や農作業の競合回避、土壌病害汚染の拡散防止および土壌物理性の改善など畑輪作体系の維持を図るうえで重要な作物である。近年のてん菜作付面積の推移を概観すると、1983年の72,522haから2009年には64,441haと減少傾向に推移している。一方、１戸当たりのてん菜作付面積は、2003年の4.8haから2009年度は7.3haと毎年、徐々に増加している。今後も１戸当たりのてん菜作付面積は増加することは予想され、尚一層の省力化、とりわけ春先作業の農作業繁忙期においての労働時間の短縮は重要な課題となっていくと考えられる。そこで、手間がかかり、規模拡大の障害となる育苗・移植体系から省力的な直播栽培体系への転換を図る必要がある。現行のてん菜直播作業は、汎用播種機の部品交換による対応で行っており、比較的小粒のてん菜コーティング種子では鎮圧が不十分で出芽率が低い場合があること、風害対策を講じてないために春先の強風により芽の損傷を受けること等の問題から収量が安定せず、普及率は７％程度（2008年）に留まっている。そこで、生研センターでは、第４次農業機械等緊急開発事業において、高速かつ高精度に施肥播種が行え、安定した収量が得られる、高性能なてん菜播種機を開発したので、報告する。

## １．開発目標

以下の項目を開発目標として設定した。

①慣行畝幅４畝用のてん菜施肥播種機とする。
②慣行比1.5倍程度の作業速度でも、高精度にてん菜コーティング種子を播種できる。
③風害が受けにくい播種床を形成可能とする。
④てん菜の他、大豆および小豆でも、高精度に播種することができる。

図１　耐風害播種床形成機構を装着した開発機

## ２．開発機の概要

開発機はトラクタ搭載型で、慣行畝幅４畝用てん菜施肥播種機である（図１、図２、表１）。

### １）播種機構

播種機構は、傾斜目皿を接地駆動輪で駆動する播種操出部、船底型で張出側板を有する播種作溝部、３つの鎮圧輪等から構成される。種子操出は目皿穴数増加で回転速度を低く設定し、欠株率の低減を図るとともに、排出口の開口角度、シュータ幅を狭くすることで、種子の落下位置のばらつきの低減を図った。作溝はＶ溝形成と張出側板による飛び出し防止で、播種深さ、横ずれのばらつきの低減を図った。鎮圧は小径の種子鎮圧輪と幅狭の播種鎮圧輪等による確実な鎮圧で、干ばつ時などの出芽率低下の防止を図るとともに、目皿回転軸と種子鎮圧輪軸とを連結し、強制駆動して種子鎮圧輪のスリップを防止した。

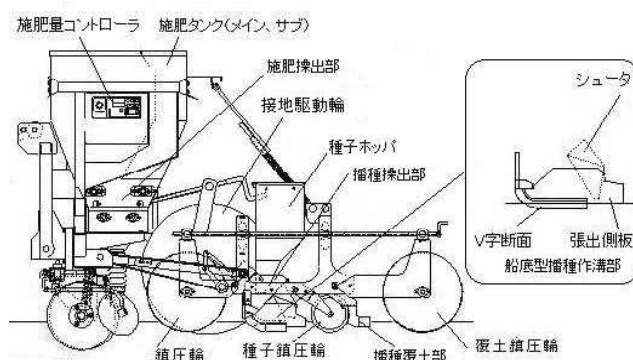



図２　開発機の概要

２）施肥機構

施肥機構は、横溝ロール式操出部、肥料繰出モータ、施肥量コントローラ、ディスク式施肥作溝部及び施肥覆土部、施肥タンク等から構成される。施肥量は、接地駆動輪の回転をエンコーダで検出し、肥料操出モータの回転速度をコントロールして行っている。施肥量較正時は、走行速度や施肥量の条件を設定し、肥料操出モータの回転速度をコントロールできるため、手で接地駆動輪を回転させて行う慣行機の較正方法に比較して容易で精度が高い。

表１　開発機の主要諸元

| 項目 | 諸元 |
|---|---|
| 機体寸法 | 長2.1m、幅3.0m、高1.4m |
| 機体質量 | 614kg |
| 対応畝幅 | 60～66cm |
| 対応畝数 | ４畝 |
| 播種作溝部 | 船底型、張出側板 |
| 種子操出部 | 傾斜目皿式、穴数24個 |
| 種子鎮圧輪 | φ168mm、幅17mm、１個/畝 |
| 駆動方式 | 駆動輪・チェン |
| 覆土鎮圧輪 | φ367mm、幅100mm、１個/畝 |
| 肥料操出 | モータ駆動横溝ロール式 |
| 施肥タンク容量 | メイン：560L<br>サブ：270L |
| 適応トラクタ | 44～59kW |

３）耐風害播種床形成機構

本機構は、風害対策用に機体後方に装着可能としており、ハの字型に異径車輪を配置し、１畝辺り左右１対の２軸ロール式車輪で構成される（図３）。これにより、機体前方の施肥作溝部、施肥覆土部により形成された盛土を押圧し、播種位置の両側15cm位置にΛ形状の防風壁を形成する。

４）クラスト対応鎮圧輪

クラスト対策として、播種鎮圧輪に変えて、中央に隙間30～50mm幅に分離したクラスト対応鎮圧輪（図４）をオプション仕様として変更できる。クラスト対応鎮圧輪は、前述の種子鎮圧輪と組み合わせて機能し、種子鎮圧輪は播種位置近傍を踏圧するが、クラスト対応鎮圧輪は種子近傍は鎮圧せずに、周辺を鎮圧する構造となっている。その結果、種子近傍は周辺より高く、播種直後の雨による土壌表面が膜状に硬化する、いわゆるクラストの発生を局所的に抑える。

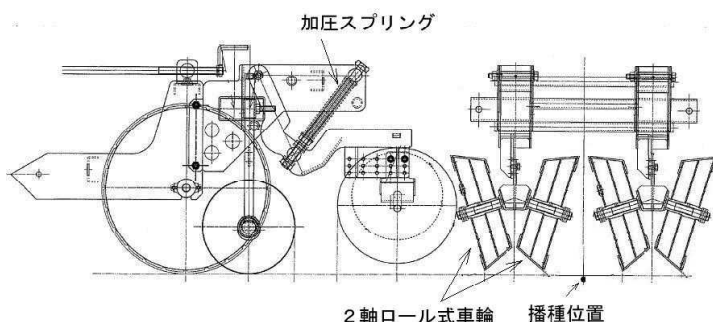



図３　耐風害播種床造成機構

図４　クラスト対応鎮圧輪

## ３．開発機における主要部の開発の経緯

### ３－１　播種機構の検証

播種機構を構成する目皿傾斜角度、目皿穴数、排出口の開口角度、およびシュータ幅の諸元を検討した。

１）試験方法

(1) 室内基礎試験

室内基礎試験装置（主に播種機構、目皿駆動モータ、ベルト駆動モータ、インバータ、平ベルトで構成され、各モータの回転速度を調整可）を用いて、表２に示すとおり、目皿傾斜角度、目皿穴径、および目皿穴数を変え、種子操出試験を行った。供試種子は、てん菜コーティング種子（品種：リッカ）、設定株間を20cmとした。

播種割合（A）を次式によって求めた。

$$A(\%) = n \Big/ \left( L \big/ x + 1 \right) \times 100$$

ここで、$L$は播種したコンベア上の距離、$n$は$L$毎に播種された粒数、$x$は設定株間である。

また、シュータ幅の適正を検証するために、上記試験装置を用いて種子操出部排出口の開口角度を50°、シュータ幅を15mm、20mmとして、グリスを塗布したベルトコンベア上に繰出し、付着した種子（品種：フルーデンR）の播種間隔を測定した。なお、ベルト速度は1.4、1.5、1.6m/s、設定株間は18cmとした。

表２　試験条件

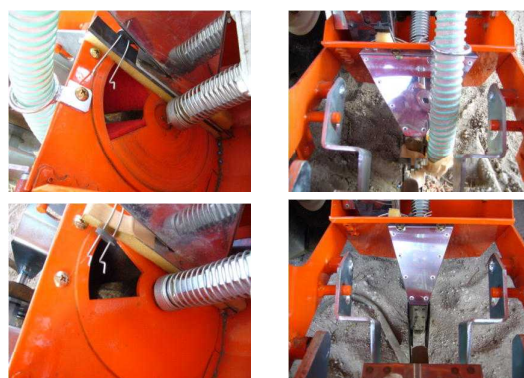
| | |
|---|---|
| 目皿傾斜角度(°) | 40、45、48、55 |
| 目皿穴径(φ、mm) | 5.5、6.0、6.5、7.0 |
| 目皿穴数（個） | 20、24 |
| ベルト速度(m/s) | 1.3、1.5、1.7 |

開口角度（上 74°、下 50°）　シュータ幅（上 25mm、下 20mm）

図５　種子操出部の排出口、シュータ

(2) ほ場基礎試験

種子繰出部排出口の開口角度とシュータ幅の適正を検証するため、シュータＡ（開口角度とシュータ幅：各々74°と25mm）とシュータＢ（同50°と20mm）の２種類（図５）を供試して、（地独）北海道立総合研究機構十勝農業試験場（以下、十勝農試）内試験ほ場において播種精度試験を実施した。試験はてん菜コーティング種子（品種：フルーデンR）を供試し、作業速度1.2～1.6m/sで播種した。調査は、播種した種子が移動しないよう留意し、地表土を除去して播種間隔と横変位を測定した。播種間隔は、種子数21粒間距離とし、横変位は播種鎮圧輪跡の中央に糸を張って、播種された種子の糸に対する垂線距離とした。

## ２）結果および考察

(1) 室内基礎試験

目皿穴数が20個の場合、目皿穴径と目皿傾斜角度の組み合わせでは、目皿穴径が小さいほど播種割合は低下する一方で、目皿傾斜角度が小さいほど播種割合は増加する傾向を認めた。特に、作業速度が速くなるほど、この傾向は顕著に示された（図６・上段）。穴数が24個の場合、20個よりも穴径や傾斜角度の影響は小さい結果となった（図６・下段）。穴数が多い方が、目皿の回転速度が低くなるため、播種ミスが少なくなり、播種割合は増えたものと思われた。しかし、作業速度が1.7m/sでは、穴径が小さく、傾斜角度が大きくなる場合に播種割合が低下する傾向を認めた。

また、播種間隔の変動係数はシュータ幅20mmでは18.0%であったのに対して、シュータ幅15mmでは12.3%と小さかった。

図６　室内基礎試験での播種割合

(2) ほ場基礎試験

播種間隔の変動係数はシュータＡが27.7%であるのに対して、シュータＢは23.6%と小さかった。横変位の平均、標準偏差はほぼ同等であった。

以上、播種機構の諸元決定に際しての基礎試験を通じて、目皿穴数24個とした場合、目皿傾斜角度48°でも作業速度1.5m/sまで高い播種割合を維持したことなどから、目皿の傾斜角度は48°、排出口の開口角度は50°、シュータ幅は15mmとすることにした。

## ３－２　耐風害播種床形成機構の検証

耐風害播種床について、風速をシミュレーションするとともに、風速低減効果等を検証した。

### １）試験方法

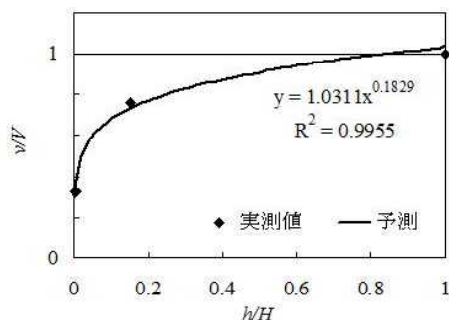
(1) 耐風害播種床の風速シミュレーション

予備的な調査として、風害が発生し易い北海道十勝管内の地域および時期（４～５月）において実測した風速および気象データ（帯広測候所）から、h=0.02m地点ではv=6.3m/s、高さh=1.5 m地点ではv=14.7m/s、h=10 m地点ではv=19.3m/sとして、次式の流速分布式を得た（図７）。

$$\frac{v(h)}{V} = 1.0311 \bullet \left(\frac{h}{H}\right)^{0.1829}$$

図７　風速分布

この式から、高さh=0.25m地点ではv=10.1m/sであったと推定された。

そこで、高さh=0.25m地点での風速vを4、8、12m/sの３水準として、播種床における防風壁の

高さを変えてその効果を検討した。検討に際しては、図８に示す耐風害播種床Λ型模型を作成し、この模型を回流型風洞（(独)農研機構　農村工学研究所）に設置した。なお、Λ型の高さHを0、3、5、8　cmの４水準とした。風洞には熱線流速計（KANOMAX、System 7000ser.）を設置し、サンプリング周波数100Hzとし、図９に示す計測点で計測を行った。

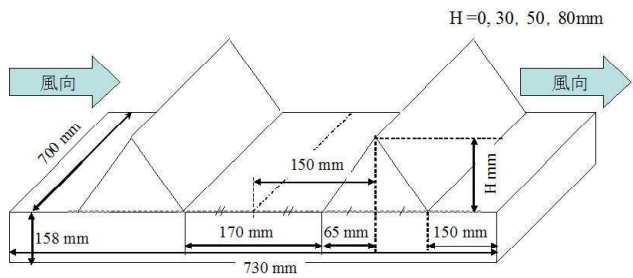



図８　耐風害播種床Λ型模型

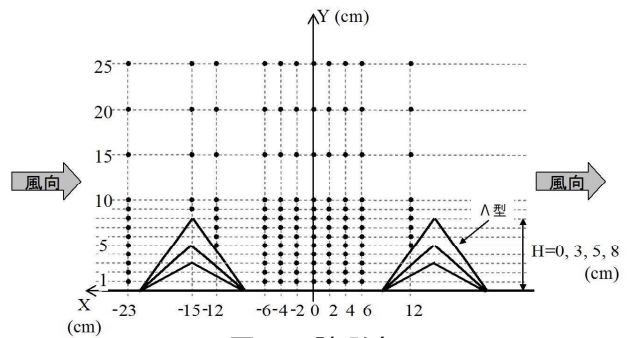



図９　計測点

また、回流型風洞に可視化煙発生装置（KANOMAX、Model8304）で発生させたグリコールを主成分とする煙トレーサを挿入し、流れを可視化した。撮影範囲は、風上側のΛ型頂点周辺の約10cm×10cmとし、5μs間隔で撮影した。使用した計測システムは0xford Laseres Ltd.のVidVector PIVシステムであり、データ解析には当該システム付属のVidPIVソフトウェアを用いて、撮影した画像を相互相関処理し、風速ベクトル分布を得た。

(2) 耐風害播種床による風速低減効果の検証

強風（帯広測候所気象データで最大瞬間風速：19.1m/s、風向：南西）が観測されたほ場（北海道池田町）において、高さ５cmの防風壁の耐風害播種床を人手で作成し、当該播種床の畝中心における高さ１、５、10cmの風速について、防風壁の有無による相違を比較検証した。測定は、多点風速計（KANOMAX SYSTEM 6244、0964-01無指向性）を用いた（図10）。

図10　風速の測定

さらに、2010年に農家ほ場（北海道池田町）において、開発機で耐風害播種床を形成し、播種後から風害発生の可能性のある６月上旬まで、当該形状の変化を検証した。測定は、レーザーセンサを用いた畝形状測定装置（生研センター試作品）を使用して測定を行った。時系列データの補正は、2cm角状の杭を畝間に打ち込み、その高さを基準として行った。

## ２）結果および考察

(1) 耐風害播種床の風速シミュレーション

① 熱線流速計による計測

v(h=0.25)=12m/s時の平均風速分布を図11に示した。風上側のΛ型の頂点で剥離し、減速された境界層が確認できた。風下に進むにつれて境界層が拡大し、最大風速に達する位置は高くなった。芽の高さと仮定した(X、Y)=(0、2)の座標点の風速は、風速v＝4m/sの時、H=3cmでは0.76m/s、H=5cmでは0.08m/s、H=8cmでは0.17m/s、風速v＝8m/sの時、H=3cmでは2.3m/s、H=

5cmでは0.43m/s、H=8cmでは0.44m/s、風速v＝12m/sの時、H=3cmでは5.8m/s、H=5cmでは2.1m/s、H=8cmでは0.84m/s程度となった。

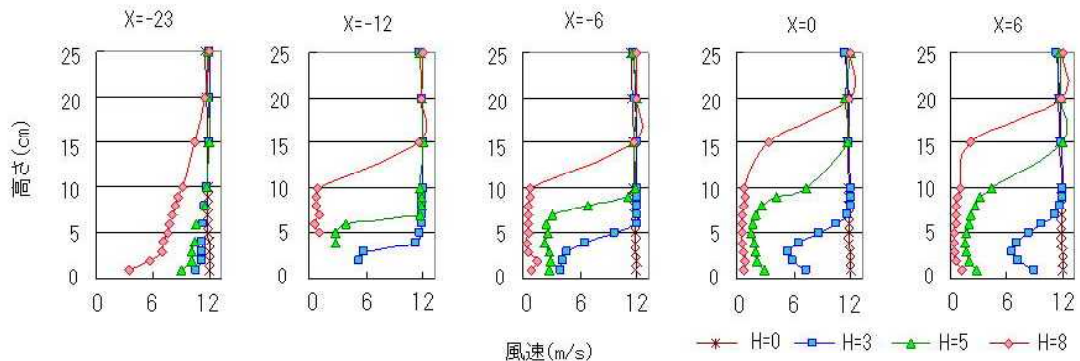



図11　風速分布（v＝12m/s）

② PIVによる計測

風速v(h=0.25)＝8m/s時のPIV解析より得た風速ベクトル分布を図12に示した。Λ型の高さが高くなるにつれて主流のベクトルの傾きは大きくなった。熱線流速計の結果と同様に、Λ型の頂点で剥離している様子が確認できた。また、H=5cmに比べ、H=3cmの方がΛ型後方の風速が高く、熱線流速計と同様の結果が確認できた。

H=8cmにおいては、Λ型後方において誤ベクトルの影響が確認された。トレーサ濃度が低く、十分な輝度が得られなかったことが原因と考えられた。また、風速v(h=0.25)＝12m/sにおいては、上記と同様にトレーサ濃度が低く、輝度不足により解析が困難であった。

(a) H=3cm　　b) H=5cm　　(c) H=8cm

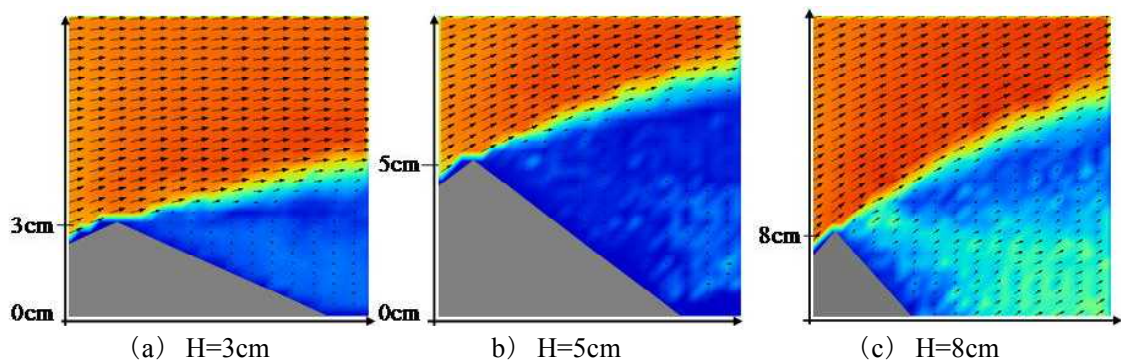



図12　風速ベクトル分布（8m/s）

以上の結果から地上高h=10m地点の風速v=19.3m/s程度の強風時において、Λ型の高さH=5cmの場合、気流を上方に変化させ、Λ型後方の風速が2m/s程度になるとシミュレーションされた。

(2) 耐風害播種床による風速低減効果の検証

ほ場内1.5m高が18.6m/s時における慣行区の1cm高の最大風速は9.9m/sであったが、耐風害播種床の畝内中央の最大風速は3.9m/sと59%減（表３）となり、前述の風速シミュレーション値とは乖離したが、風速の低減効果は認められた。

表３　耐風害播種床の風速低減

| 試験区 | 耐風害播種床 | | | 慣　行 | | | ほ場内 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 地上高(cm) | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 150 |
| 平均(m/s) | 2.1 | 2.8 | 5.5 | 5.1 | 5.9 | 6.3 | 10.2 |
| 最大(m/s) | 3.9 | 7.1 | 10.9 | 9.9 | 11.7 | 12.1 | 18.6 |

測定日時：2009/05/19　12:25-12:40

また、播種日、すなわち耐風害播種床形成日から7日後および31日後の形状の変化を図13に示す。防風壁の高さが若干低下したものの、防風壁としての形状は概ね維持され、一定の風速の低減効果はあると考えられた。

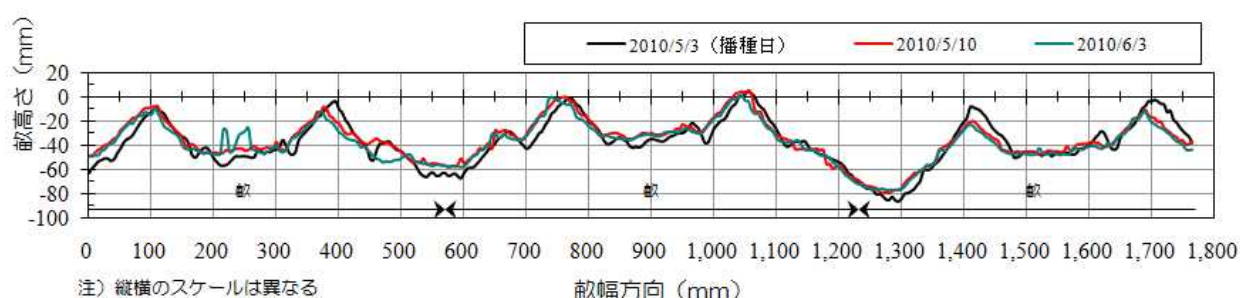



図13　耐風害播種床形状の経時変化

## 4．現地ほ場試験

### 1）試験方法

(1) 作業精度と生育状況

３ヶ年にわたって実施した現地ほ場試験の場所及び播種日は表４のとおりである。施肥量は慣行法にしたがい、供試したてん菜直播用ペレット種子の品種は「リッカ」（北海道糖業㈱）である。また、前述の基礎試験を通じて試作した耐風害播種床形成機構について現地ほ場での適応性についても検証した。

表４　試験ほ場と播種条件等

| ほ場名 | 試験場所 | 土壌の種類 | 播種日 |
|---|---|---|---|
| 08a | 十勝農試 | 淡色黒ボク土 | 2008/4/18 |
| 08b | 芽室町 | 褐色低地土 | 2008/4/14 |
| 09a | 十勝農試 | 淡色黒ボク土 | 2009/4/20 |
| 09b | 芽室町 | 褐色低地土 | 2009/4/14 |
| 09c | 池田町 | 灰色低地土 | 2009/4/19 |
| 09d | 池田町 | 褐色低地土 | 2009/5/2 |
| 10a | 十勝農試 | 淡色黒ボク土 | 2010/4/20 |
| 10b | 芽室町 | 褐色低地土 | 2010/4/18 |
| 10c | 本別町 | 多湿黒ボク土 | 2009/5/4 |
| 10d | 池田町 | 褐色低地土 | 2009/5/3 |

作業精度試験に際しては、作業速度1.5m/sによる開発機の標準仕様区（図２参照）、耐風害播種床形成機構、およびクラスト対応鎮圧輪をそれぞれ装備した試験区を設定した。これら開発機との比較検討に供するために、対照区には当該試験地所有の慣行的な総合播種機（てん菜仕様、目皿穴数：20個）を用いることとした。

本試験での調査項目は、播種精度（欠株率、播種間隔、播種深さ、横ずれ）、出芽率、収量等とした。なお、試験期間中（2009.5.19）、試験地の一部が風害発生地域となったため、その試験地に限定して、慣行区と耐風害播種床形成機構による試験区について、芽の損傷率（同.5.21）と草丈、生葉数の生育状況（同.6.28）を調査した。芽の損傷率については、畝10m区間（約50株に相当）を調査対象とした。生育調査では、11株を調査対象とした。

(2) 作業能率

一方、上記作業精度試験とは別に２農家ほ場（芽室町）で作業能率試験を実施した。いずれのほ場も、作業精度試験結果を踏まえ、開発機では目標作業速度を約1.5m/sと設定した。すなわち、作業能率試験においては、現地試験農家が慣行的に使用する播種機（以下、慣行機）による作業精度と同等の精度を確保し得る速度で開発機は走行するものとした。肥料の

表５　試験条件

| 試験区 No. | 人員（人） | 畝長（m） | 畝幅（m） | 供試面積（ha） | 工程（回） |
|---|---|---|---|---|---|
| 農家Ⅰ | 1 | 255 | 0.66 | 1.1 | 16 |
| 農家Ⅱ | 1 | 340 | 0.66 | 1.3 | 14 |

補給作業は当該農家の方法に倣うとともに、両試験地においてはほ場内に任意に肥料補給場所を定めて行った。試験条件を表５に示す。

## ２）結果および考察

### (1) 作業精度と生育状況

本項においては、播種精度、出芽率や収量等について通年の平均値を示した。開発機の播種精度、出芽率の結果を、慣行機と比較して表６に示した。開発機の播種性能は、1.5m/sの高速作業でも、欠株率が約３%、播種深さの標準偏差が約３mm、横ずれの標準偏差が約４mmと、慣行機より良好な結果が得られた。出芽率は平均で87%と、目標値85%を上回り、慣行機の慣行速度1.0m/s時との差は認められなかった。なお、2010年度は高温多湿のため、腐敗根率が高い傾向が認められ、根重、根中糖分及び糖量は2009年度より低い結果となったものの、慣行区との明らかな差は認められなかった（Turkey法)。３年間の収量調査の平均を図14に示した。開発機の根重、根中糖分、糖量は慣行機の走行速度1.0m/sと同等であった。

表６　播種精度と出芽率

| | 開発機 | 慣行機 | |
|---|---|---|---|
| 作業速度(m/s) | 1.5 | 1.0 | 1.5 |
| 欠株率(%) | 3.3 | 4.2 | 5.9 |
| 播種間隔(cm) | 21.6 ± 3.7 | 20.4 ± 3.3 | 18.8 ± 3.5 |
| 播種深さ(mm) | 19.3 ± 3.0 | 20.9 ± 4.1 | 21.5 ± 4.25 |
| 横ずれの標準偏差(mm) | 3.9 | 7.3 | - |
| 出芽率(%) | 86.8 | 87.6 | 84.6 |

欠株、播種間隔、播種深さ、横ずれは 2008、2009 年、６カ所ほ場での試験データの平均、出芽率は 2008 ～ 2010 年、10 カ所ほ場での試験データの平均、慣行機 1.5m/s は 2009 年、４カ所ほ場の試験データの平均

図14　収量（2008～2010年の平均）

2009年度に風害が発生した地域の試験ほ場09d（前出表４）において調査した結果、芽の損傷率は慣行区では100.0%とほとんどが被害を受けた。一方で、耐風害播種床区においては、内側２畝で防風壁が良好に形成できなかった箇所では芽の損傷の発生は確認されたものの、全平均で14.2%と開発機で形成した防風壁によって被害を抑制できる事例を確認した。さらに、６月時点での生育過程を調査した結果、耐風害播種床区における生育が慣行区に比較して順調であることが認められた（表７)。なお、当該年度で供試した耐風害播種床形成機構は、その後の改良により、内側２畝の防風壁の形成は改善された。

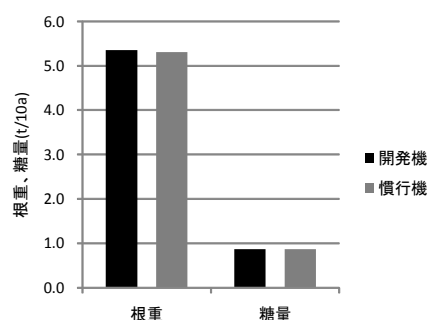



表７　耐風害播種床の効果

| 試験区 | 耐風害播種床 | 慣行 |
|---|---|---|
| 損傷率(%) | 14.2 | 100.0 |
| 草　丈(cm) | 24.6[a] | 15.6[b] |
| 生葉数(枚) | 10.8 | 9.3 |

a-b 間に有意差(p<0.01)

### (2) 作業能率

農家Ｉでは、肥料補給（20kgの小袋単位、種子補給を含む）は２往復毎に行われた。走行速度1.54±0.03m/s（Ave.±Std.）で作業が行われ、ほ場作業量は80.4a/h（延べ作業時間=1.2h/ha、作業の内訳：①正味作業=56%、②枕地旋回作業=10%、③肥料・種子補給=35%、④故障等停止=0%)、理論作業量は146.3a/hであり、よってほ場作業効率は55.0%であった。一方、対照機とした当該農家慣行機においては、ホッパ容量の関係から１往復毎に肥料・種子の補給が行われた。走行速度1.01±0.03m/s（Ave.±Std.）で作業が行われ、ほ場作業量は58.2a/h（延べ作業時間＝1.7h/ha、作業の内訳：①正味作業=63%、②枕地旋回作業=6%、③肥料・種子補給=28%、

④故障等停止=0%)、理論作業量は96.3a/hであり、ほ場作業効率は64.0%であった。これより、当該農家ほ場においては、開発機により農家慣行機に比して38.3%の能率向上が図られた。

農家Ⅱでは、肥料補給（ユニッククレーンを用いて500kgフレコン単位、種子補給を含む）は２往復毎に行われた。走行速度1.48±0.03m/s（Ave.±Std.）で作業が行われ、ほ場作業量は95.6a/h（延べ作業時間＝1.1h/ha、作業の内訳：①正味作業=67%、②枕地旋回作業=7%、③肥料・種子補給=26%、④故障等停止=0%)、理論作業量は140.7a/hであり、よってほ場作業効率は67.2%であった。一方、対照機とした当該農家慣行機においては、走行速度1.07±0.01m/s（Ave.±Std.）で作業が行われ、ほ場作業量は73.8a/h（延べ作業時間＝1.4h/ha、作業の内訳：①正味作業=73%、②枕地旋回作業=7%、③肥料・種子補給=21%、④故障等停止：0%)、理論作業量は101.3a/hであり、よってほ場作業効率は72.9%であった。よって、当該農家ほ場において、開発機により農家慣行機に比して28.2%の能率向上が図られた。

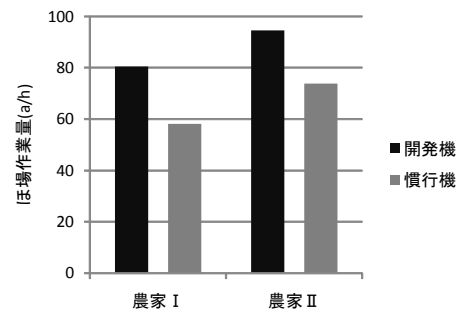



図15　作業能率

以上により、ほ場の形状や肥料の補給方法等によって作業能率に差異は認められるが、開発機は慣行的な播種機に比して概ね30～35%の作業能率の向上を認められた（図15)。開発機の導入によって春作業競合のより大きな緩和が見込まれる。さらに、従来の移植作業の一部を直播に置き換えることも作業競合緩和策の選択肢になると思われる。

## おわりに

生研センターでは高速かつ高精度に施肥播種が行え、同時に風害を受けにくい播種床を形成するてん菜施肥播種機を開発した。開発機は、2011年度に共同研究参画企業であるサークル機工(株)から市販化される予定である。なお、大豆、小豆等の播種、クラスト対応鎮圧輪の性能については、引き続き、検討を行う計画である。

本研究を実施するにあたり、共同研究参画企業をはじめ、現地試験等において、(地独)北海道立総合研究機構 農業研究本部　中央農業試験場および十勝農業試験場、ホクレン農業協同組合連合会、北海道農業研究センター芽室研究拠点、農家等の現地関係者の方々に多大なご協力を賜った。ここに記して改めて感謝の意を表する。

## 参考文献

１）稲野一郎、桃野　寛、鈴木　剛、有田敬俊：直播てんさいの出芽率向上に関する研究（第１報)、農機誌、68(6):75-82、2006
２）稲野一郎、桃野　寛、鈴木　剛：直播てんさいの出芽率向上に関する研究（第２報)、農機誌、68(6):83-90、2006
３）稲野一郎、桃野　寛、鈴木　剛：直播てんさいの出芽率向上に関する研究（第３報)、農機誌、69(3):75-82、2007
４）梶山　努：テンサイにおける省力栽培の可能性と課題、農機誌、70(6):4-7、2008

# 高機動型果樹用高所作業台車の開発

園芸工学研究部　　太田智彦、山田祐一、猪之奥康治
宮崎昌宏
企画部　　金光幹雄
共同研究実施会社　　（株）サンワ

## はじめに

りんごなど果樹栽培は、機械化が進展していない分野の１つで、高齢化が進む中で、後継者不足も深刻化している。果樹用機械としては、労働時間の約６割を占めている授粉、摘果、収穫等に幅広く利用できる高所作業車が市販されているものの、機体が大きいこと、小回りが利かないこと等から普及がそれほど進んでいなかった。こうした作業に広く用いられている脚立は、不安定で危険が伴う上に、持ち運びを要するなど労働負担の面からも問題があり、脚立に代わるような小型で機動性の高い高所作業台車の開発が新たに必要となっていた。

そこで、平成 20 年度から第４次農業機械等緊急開発事業で、小型で小回りが利く作業台車の開発を（株）サンワと共同で進め、平成 21 年度にプロトタイプを試作し、青森県産業技術センターりんご研究所、福島県農業総合センター果樹研究所の協力を得て、上記問題を改善できる高所作業台車の開発に取り組んだ。ここでは開発した高機動型果樹用高所作業台車について報告する。

## １．高機動型果樹用高所作業台車の構造と特徴

### １）開発機の構造

開発機は、簡易な構造で高い機動性を持つ、車輪式２輪駆動２輪操舵の高所作業台車である（図１、図２、表 1)。約４ｍの高所での作業が可能なように作業台はシザース（パン

(a)リンゴ普通樹での作業

(b)リンゴわい化樹での作業

図１　開発機による作業

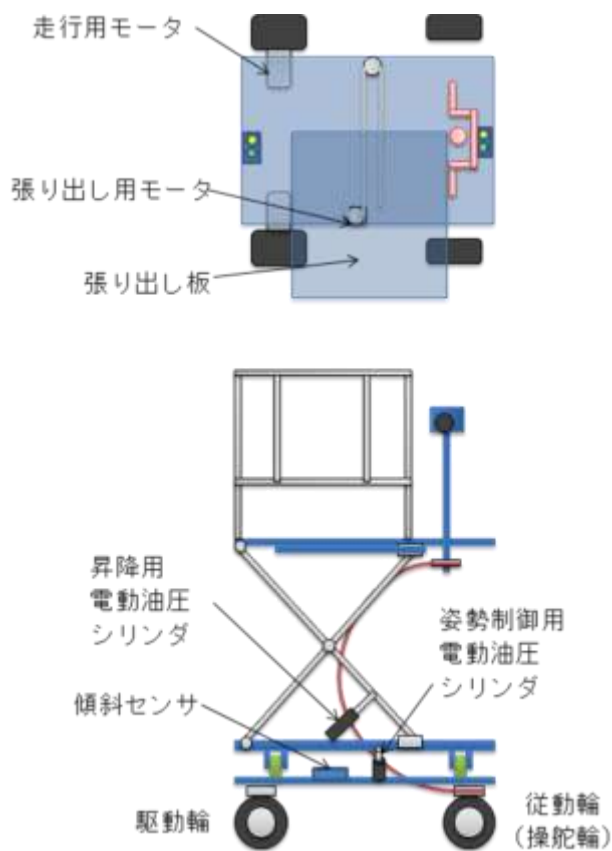



図２　開発機の構造

タグラフ）方式で２ｍまで昇降可能である。寸法と質量は軽トラックに積載できる寸法と質量である。動力源は電動であり、バッテリから電源が供給され、連続作業可能時間は摘葉作業時で 10 時間以上である。

表１　主要諸元

| | |
|---|---|
| 全長×全幅×全高 | 1600 ×1200×1700 mm |
| 空車質量 | 273 kg |
| 最大積載量 | 100 kg |
| 荷台寸法 | 1400x620 mm |
| 作業台最高高さ | 2000 mm |
| 駆動・操舵輪 | 後輪駆動輪操舵 |
| 最小旋回半径 | 2200mm |
| 張り出し板幅 | 600 mm |
| 張り出し長さ | 500 mm |
| 走行速度 | 0～1.2 m/s（無段階） |
| バッテリ | 12V（40Ah）、２個直列 |
| 走行用モータ | 210W、２個 |
| 連続作業可能時間 | 10h 以上（摘葉作業時） |
| 傾斜検出センサ | 傾斜スイッチ（２個）と傾斜センサ（１個） |
| 作業台水平制御 | 電動油圧シリンダ |
| 作業台水平制御可能範囲（傾斜角） | ロール方向 ±12° |
| 静的転倒角 | ロール方向　23° |

開発機には荷台の水平制御機能を組み込んであり、高所でも安定した作業台上で作業が可能である。操舵部はハンドル回転軸と車輪操舵軸をチェン、ワイヤ、スプロケットで連結することで、簡易な構造で操舵角を最大 60°と大きくとり、旋回半径約２ｍの小回りが利く構造とした(図３)。開発機のハンドルは自転車のハンドルのような形状であり、自転車と同じようにハンドルを回転させることで操舵する。また、開発機は、操舵回数を減らして効率的に作業するために、樹体への作業者の接近を容易にする電動張り出し板を備えている。

(a)ハンドル

(b)操舵輪

図３　開発機の操舵部

2）開発機の特徴

開発機の特徴は小型の寸法、作業台水平制御機能を有している、小回りが利く、張り出し板を有する、電動であることである。

①開発機は小型の寸法であるので、ほとんどの生産者が所有している軽トラックに積載してほ場間移動が可能であり、新たに大型トラックを導入しなくても済むメリットがある。小型であることから、普通樹の枝葉間の小さい空間やわい化樹で枝葉が通路上に大きく伸びた樹間でも走行しやすい。

②作業台水平制御機能を有しているので、安定した作業台上で作業が可能である。張り出し板上に作業者が乗った状態でもロール方向静的転倒角が 23°となり、安全鑑定基準の 15°を越えている。なお、作業台高さ 1．5m 以上での走行速度は安全鑑定基準の 1km/h 以下の超低速で走行し、高所で安全に移動できる。

③小回りが利くので樹体への接近が行いやすく、樹冠内で枝葉を避けながら移動することが容易であり、クローラより効率的に移動可能である。さらに、クローラで着色マルチ上を走行、操舵するとマルチが破れ、リンゴ摘葉作業や収穫作業ではクローラ式の高所作業台車が利用できないが、開発機は車輪式であるのでマルチ上でも走行・操舵が可能である。

④張り出し板を有しているので、機体を走行させなくても容易に作業対象に近づくこと、昇降させることが可能である。

⑤電動であるので静かな環境で作業をすることが可能ある。エンジン式の作業台車と異なり、脚立と変わらない音環境で作業が可能で負担を感じない作業ができる。また、エンジン式と異なり、温室効果ガスを発生しないので地球環境にも優しい作業台車と言える。

⑥開発機のパンドルを前方に折りたたむことができるので歩行用運搬車としても利用できる（図４）。作業台最低位置で 200kg を積載可能で、狭い樹冠内、樹列間を運搬することができる。

図４　開発機の運搬車としての利用

2．高機動型果樹用高所作業台車の水平制御機能

開発機が小型であるので高い作業台位置の転倒対策として作業台の水平制御装置に重点をおいて開発を進めた。

1）水平制御装置の構造

水平制御装置はリニア傾斜センサ、傾斜スイッチ、電動油圧シリンダ、コントローラ（PLC）から構成される（図５）。リニア傾斜センサにより作業台の傾斜角を、傾斜スイッチにより

傾斜方向を検出し、コントローラにより、電動油圧シリンダを伸縮させてロール方向（機体左右方向）に常時、作業台位置を水平に保つようする。車体が 12°傾斜するまで作業台を水平制御することが可能である。

２）静的転倒角

水平制御による静的転倒角を測定するために、生研センター内転倒角測定装置により、ロール方向（機体左右方向）の静的転倒角を測定した。張り出し板を傾斜下方向に最大に伸ばした位置で張り出し板上に作業者を想定した 65kg の重錘を、作業台中央には 35kg の重錘を積載し、車体を傾斜させた（図６）。静的転倒角測定試験の結果、ロール方向の静的転倒角が 23°となり、安全鑑定基準の 15°を越えることを確認した。

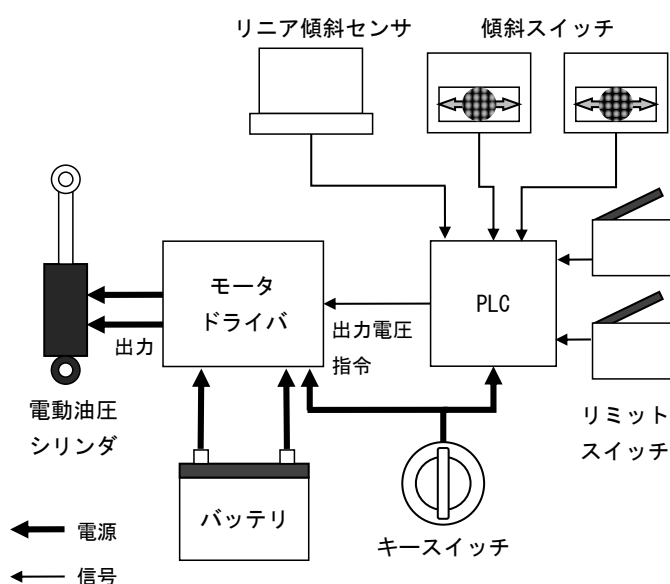



図５　水平制御装置の概要

図６　静的転倒角測定状況

３）傾斜走行性能

水平制御性能を調べるために、作業台高さを 1000、2000mm、走行速度 0.2、0.6m/s で人工傾斜（図７）を走行した。試験では進行方向片側の車輪のみ人工傾斜に乗り上げ、走行時のロール方向傾斜角を測定し、その絶対値の最大を求めた。なお、走行は運転者１名が乗車した状態で行い、転倒の危険がある作業台高さ 2000mm での制御なしの条件、作業台高さ 2000mm で走行速度 0.6m/s、の条件では試験を実施しなかった。

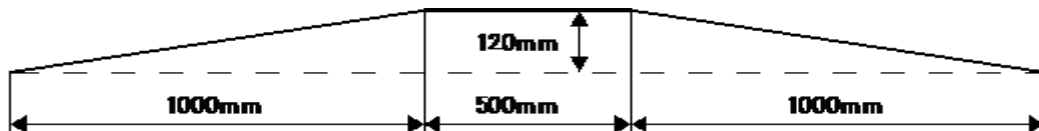



図７　人工傾斜路面

制御なしでは最大傾斜角が６°以上となったが、水平制御のある場合は、走行速度 0.2m/s で作業台高さ 1000 mm、2000 mm ともに最大傾斜角は３°以下となり、走行時の水平制御が確認できた（図８）。作業台高さ 2000mm では、機械的なガタが大きくなるので、作業台高 1000mm のときより、最大傾斜角がやや大きくなる傾向がみられた。走行速度が 0.6m/s のときの最大傾斜角は 0.2m/s のときよりも大きくなり、傾斜地走行時に作業台を 1000mm 以上高くして走行する際は走行速度 0.2m/s 以下とすることが望ましいと考える。

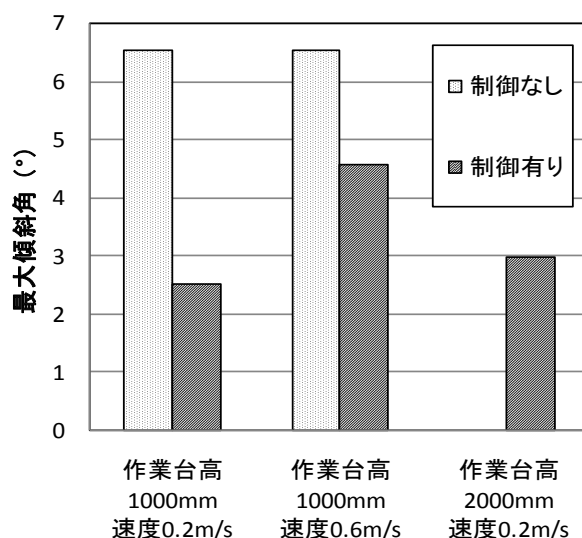



図８　水平制御試験結果

## ３．高機動型果樹用高所作業台車のほ場作業性能

### １）作業負担

福島県農業総合センター果樹研究所のわい化リンゴ園（樹列間５m、樹間２m、樹幅 3.9m、樹高 4.4m、品種‘ふじ’）、および、普通栽培リンゴ園（樹列間９m、樹間９m、樹高 4.0m、品種‘ふじ’）で開発機と市販電動作業台車を供試し、高所での摘果作業および摘葉作業を行い、心拍数を測定した。高所の対象果実位置を約 1.5m 以上とした。供試樹数、枝数はわい化樹で２樹、普通樹で亜主枝１本とした。

高所での摘葉作業時の心拍数増加率は、わい化リンゴ園、普通栽培リンゴ園でそれぞれ 10、12％となり、脚立利用の心拍数増加率 24％（わい化樹・普通樹とも同値）と比べ、10～12 ポイント低減し、作業負担の軽減効果を確認した（図９）。脚立では持ち運びや昇降の作業を行うこと、不安定な部分に脚を載せて体のバランスを取りながら作業を行うことから心拍数増加率が脚立で高くなったと考えた。また脚立上のステップは面積が限られているので手を伸ばす必要が多く、作業負担が高くなったと考えた。

図９　心拍数増加率
（リンゴ摘葉作業、40 代男性）

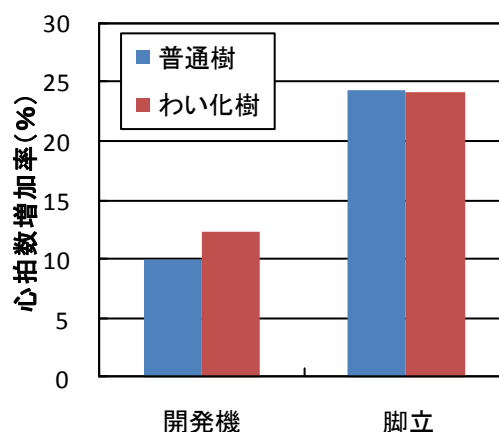
また、上下作業心拍数比（高所での平均心拍数／低所での平均心拍数×100（％））は開発機では 100％を下回り、脚立では 106％となった（図 10）。このことから、開発機を利用して高所作業を行うと地面で作業する身体負担と同程度か軽減して作業ができると考えた。一方、開発機

による高所作業は広く安定した作業台上で、必要な位置に立って作業が可能であるので作業負担が軽減されたと考える。張り出し板の利用によって作業対象位置により自然な姿勢で近づくことが可能となった。また、作業台高さを作業しやすい高さに調節したことも作業負担の軽減に効果があったと考える。

図 10　上下作業心拍数比
（リンゴ摘葉作業、40 代男性）

摘果作業時の脚立上段作業時（天板から下１～２段での作業）の心拍数増加率は開発機の約 15%より大幅に高く、約 35%となった（図 11)。このことから、開発機の作業は脚立上段での作業より大幅に作業負担が軽減されたと言える。脚立中下段での作業は太ももや片手を脚立にかけて、体を支えて手作業を行うことができるが、上段での作業は太ももや片手で体を支えて作業を行うことができないため、不自然な体勢で狭い足場に立って作業を行うため、作業負担が大きくなったと考える。

わい化樹２樹と普通樹１亜主枝の高所･低所を連続で行い、心拍数の変化を調べた結果、脚立では心拍数が上昇して、高い値で維持する傾向であったが、開発機の場合は高所作業（上開始から上終了まで）で心拍数が下がる傾向があった。このことから、脚立での長時間作業では疲労による負担が高く、開発機では長時間作業を行っても高所作業で作業負担が少なく、疲労の蓄積が少なかったと考える。

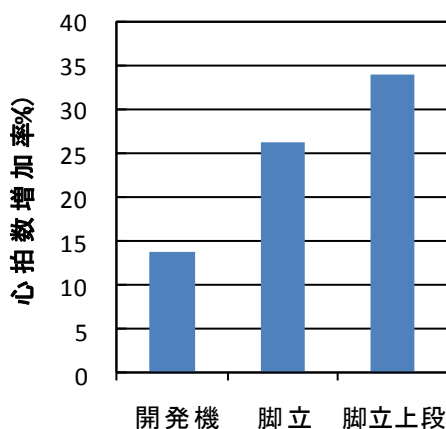



図 11　脚立上段作業時の心拍数増加率との比較
（リンゴ摘果作業、40 代男性）

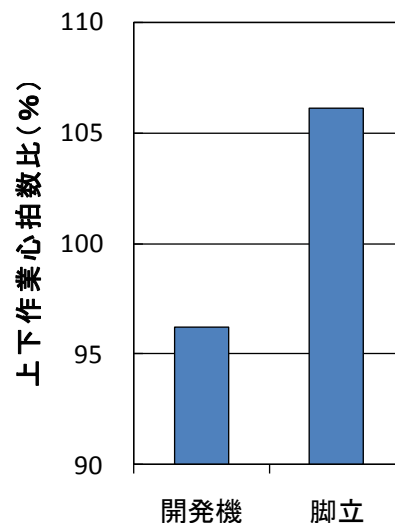
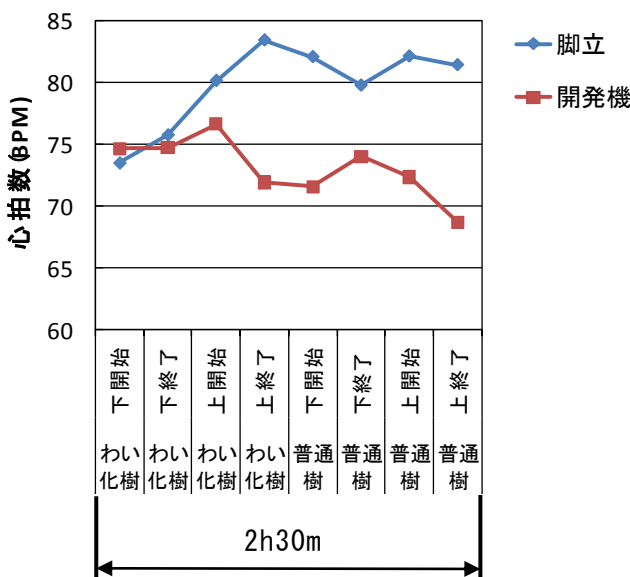



図 12　長時間連続作業時の心拍数増加率の変化
（リンゴ摘葉作業、40 代男性）

２）作業能率

青森県産業技術センターリンゴ研究所のわい化リンゴ園（樹列間４ｍ、樹間２ｍ、樹幅

1.9m、樹高 3.5m、品種‘ふじ’）で開発機、市販電動作業台車（以下、市販機）、脚立を供試し、高所での摘葉作業（対象果実位置約 1.5m 以上）を行い、作業能率を測定した。供試樹数は３樹とした。

高所でのわい化リンゴ園の摘葉作業での単位時間当たり処理果数は 238 個／h で、市販機の処理果数 173 個／h と比べて 38％多くなり、能率が高かった。また、脚立と比較して同等であった（図 13）。市販機は張り出し板を有さないため、樹体に接近した状態で昇降することができず、昇降する度に開発機を操舵し、樹体から離れ、再接近する必要があった。市販機では樹体近くで操舵する時間が多くなり、作業時間が少なくなったため、処理果数が少なく、作業能率が低くなった。

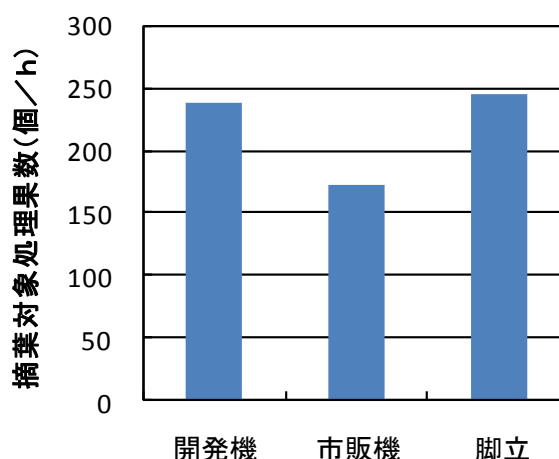



図 13　リンゴ摘葉作業能率
（市販機は昇降高さ 1.5m の電動作業台車、能率は作業者３名の平均）

## おわりに

本研究では、果樹の高所作業の軽労・省力化を目指して、小型で小回りが利き、水平制御機能を有する電動作業台車を開発し、開発機利用による高所作業の軽労化、能率向上を確認した。平成 22 年 11 月 5 日に福島県農業総合センター果樹研究所で開発機の現地検討会を行った。今後も積極的に開発した高所作業台車の実演会を行う等、普及促進のための活動を続ける予定である。平成 23 年度市販化予定であり、果実生産の省力化に貢献していきます。

開発機は樹高４m 以下、樹間 1.2m 以上の果樹に適応できる。本機を利用する際は、通路となる空間（幅 1.2m、地上高 1.7m）を確保する必要がある。平坦地、または、５° 以内の傾斜地で利用することが望ましい。本研究の推進に当たって、青森県産業技術センターりんご研究所、福島県農業総合センター果樹研究所には、ほ場試験で多大なご協力を賜った。記して深甚なる謝意を表する。

## 参考文献

１）太田智彦・山田祐一・猪之奥康治・金光幹雄・(株) サンワ・青森産技セ・福島農総セ (2010) 高機動型果樹用高所作業台車の開発－試作 1 号機の概要とほ場試験－．平成 22 年度農機学会年次大会．206-207
２）生研センター（2008-2010）平成 20～22 年度生研センター事業報告
３）山田祐一・太田智彦・金光幹雄・(株) サンワ (2010) 高機動型果樹用作業台車の開発－水平制御システムの開発、平成 22 年度農機学会年次大会、2010.9、208-209

# 果樹用農薬飛散制御型防除機の開発


| | |
|---|---|
| 園芸工学研究部 | 太田智彦、山田祐一、猪之奥康治 |
| 生産システム研究部 | 吉田隆延、水上智道、宮原佳彦 |
| 企画部 | 臼井善彦、金光幹雄 |
| 特別研究チーム（ドリフト） | 安食惠治（現退職） |
| 共同研究実施会社 | (株)丸山製作所、ヤマホ工業（株） |

## はじめに

わい化リンゴ園などの果樹園で行われているスピードスプレーヤ（以下、慣行SS）による薬液散布作業では、送風を伴って機体側方や上方に薬液を散布している。慣行SSでは園端付近でも園内中央部分でも大風量・風向の送風で散布するため、園端付近でドリフトが発生しやすくなっていた。平成18年よりポジティブリスト制が施行され、より一層ドリフトに配慮する必要がある状況となった。そこで、生研センターでは農業機械等緊急開発事業により、平成18年度から平成22年度までの５年間でリンゴ園を対象としたドリフトを低減できる果樹用防除機の開発に取り組んできた。

本研究の目的は噴霧方向および噴霧量等の適正制御による農薬の高精度かつ高能率な散布を行う防除機を開発することである。具体的にはリンゴ園を対象として、付着性能を維持しつつドリフトを低減できる防除機を開発することを目的とした。ここでは開発した果樹用農薬飛散制御型防除機の構造、性能について報告する。

## １．果樹用農薬飛散制御型防除機の構造

ポジティブリスト制が施行され緊急に開発が求められている、開発機導入により果樹生産者の経営を圧迫しない等の理由により、開発機は広く果樹生産者に普及しているタンク容量600Lのスピードスプレーヤをベースに開発することとした。

### １）回動式導風板

開発した果樹用農薬飛散制御型防除機（以下、開発機）は、送風機吹出口、ノズルより送風機中心側に開閉可能な導風板４枚が左右対称に取り付けてあり、導風板の角度を変えることによって、園端からの距離、樹形、繁茂程度に合わせ、機体左右の風向や園外方向への風速を適正に調節して散布ができる（図１、表１）。それぞれの導風板は送風機中心側の端を中心に回動できる構造となっており、さらに、４枚の導風板がリンク機構で接続され、片側４枚の導風板が同時に同じ方向に回動する。リンクロッドの一部を電動シリンダに接続しており、電動シリンダの伸縮によってリンク機構を動作させ、導風板を回動する。

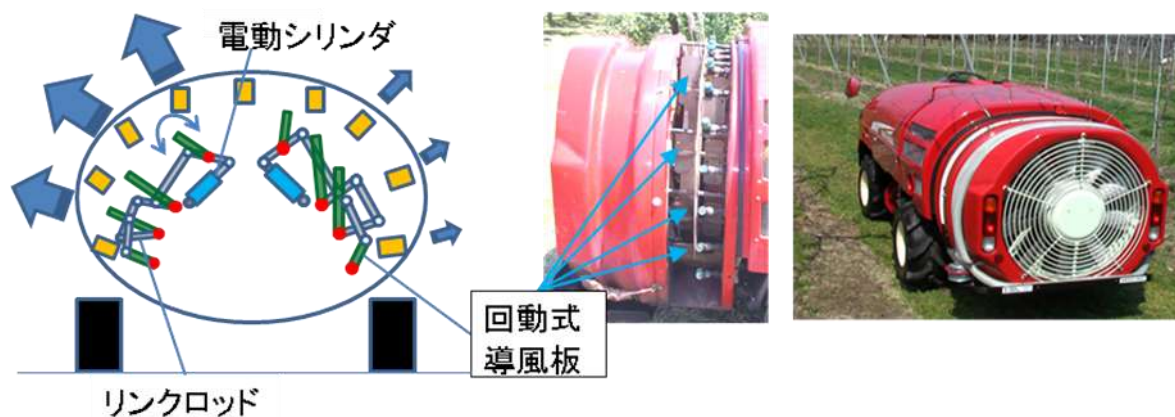



図１　果樹用農薬飛散制御型防除機

表１　開発機の主要諸元

| | |
|---|---|
| 全長×全幅×全高 | 3395x1370x1200 mm |
| 乾燥質量 | 1100　kg |
| エンジン排気量 | 1498　ml |
| 薬液タンク容量 | 600　L |
| 噴霧ポンプ吐出量 | 90　L/min |
| 送風機風量 | 410, 645 m$^3$/min |
| 導風板 | 回動式４枚 |
| 速度連動装置 | 散布量誤差 5%以内（走行速度 0.4～0.7m/s） |
| ノズル | ドリフト低減ノズル |

市販機には電動シリンダや手動でスライドさせることによって、ノズルの外側から覆い被せるように遮風する方式の遮風板があるが、開発機の導風板は既存の遮風板と比べて次の特徴がある。①既存の遮風板はノズルの外側に遮風板が取り付けられており、最外列での散布時に園外方向への送風を抑えて、ドリフトを抑制するが、園外から２列目や３列目から外側へ散布する際には慣行 SS と同じように送風を抑えることができずに送風によって樹列を突き抜けるドリフトが発生しやすい。開発機は、ノズルより内側に導風板が取り付けられているので、最外列では大きく遮風することができ、さらに、園外から２列目、３列目で散布するときも風向・風速を変えることができ、樹列を突き抜けるドリフトを抑制することができる。②導風板の角度を変えることによって風向や外側への風速を変えることができるので樹列、樹形、樹体繁茂度合いに応じて、ドリフトが少なく、付着性能が得やすい送風条件で散布できる。

### ２）ドリフト低減ノズル

開発機には SS 用ドリフト低減ノズル（図２、表２）が装着されている。開発機の大粒径の粒子を噴霧する空気混入式と空気非混入式の２種類のノズルから構成され、開発機には周状に交互に取り付けられている。２種類のノズルともに大粒径であるので、自然風や送風機による風によってドリフトしにくく、扇形に噴霧するので噴霧の勢いが良く、大きな風量を必要としないことが特徴である。空気混入式は噴霧粒子が気泡を持つため、ドリフトしにくい。空気混入式ノズルは、通

図２　開発機のドリフト低減ノズル

常の慣行ノズルと同様にノズル噴出中心線の角度は０°（進行方向に対して 90°）であり、樹体方向に直線的に噴霧される。空気非混入式ノズルは 10°（進行方向に対して 100°）の角度を持ち、機体後方 15°の傾きで噴霧される。異なる角度で２種類のノズルが扇形に噴出し、機体進行方向に広がりを持って噴霧することで樹体への付着性能を確保する。

表２　開発機装着ノズルの仕様

| | 空気混入式 | 空気非混入式 |
|---|---|---|
| 角度 | ０° | 機体後方に 15° |
| 噴霧形状 | 扇形 | |
| 噴霧角度 | 50 度 | |
| 噴霧適用圧力 | 1.0～2.0 MPa | |
| 平均粒径（VMD） | 350 μm | 250 μm |
| 噴霧量 | ２，３，４，５ L/min（噴霧圧力 1.5MPa のとき） | |

３）速度連動装置

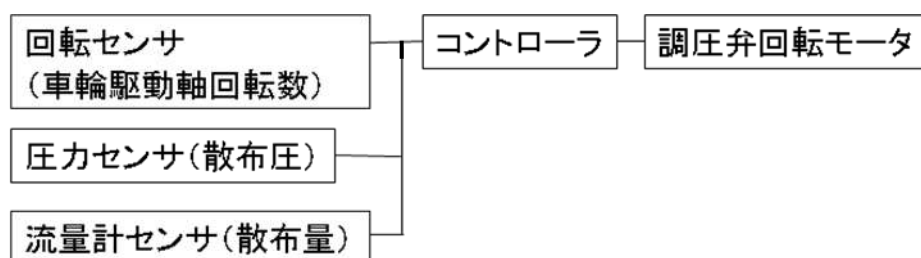
必要以上に多くの散布量の薬剤を散布すると、より多くのドリフトを引き起こすことから、適正散布量の高精度な散布をする目的で速度連動装置（図３）を開発し、開発機に組み込んだ。速度連動装置は作業速度が変化しても常に設定した単位面積当たり散布量を維持できるように走行速度、散布圧を検出して、調圧弁を電動モータで自動制御し、吐出量を調節する。走行速度は車輪ドライブシャフト上の回転センサで、散布圧は圧力センサで、流量は流量センサで検出し、これらの測定値を常時コントローラに入力し、測定値とノズル噴霧量・設定樹列間値から散布量を算出する。算出した散布量が設定散布量となるように調圧弁回転用モータを回転させ、圧力を変化させる。この制御を散布中常時行うことによって、常に設定散布量となるように散布圧が制御される。その他の機能として瞬時散布量の表示、積算散布量の表示ができる。

（a）操作パネル　　　　（b）構成概略図

図３　速度連動装置

２．果樹用農薬飛散制御型防除機のドリフト低減のための散布方法

１）回動式導風板の樹列に応じた設定

開発機でドリフトを低減するために、園端付近の樹列散布で回動式導風板の回動角度を変えて散布する（図４）。導風板の角度を変えるためのスイッチは運転席に取り付けられており、運転席に乗車したまま導風板の角度を変えることができる。なお、２個のスイッチにより、左右独立して角度を変更できる。導風板設定方法は、具体的には以下の通りである。

(1) 最外列の散布時には、園外側の導風板を最大に傾斜させ、送風の抵抗として導風板を作用させ、園外方向への送風を抑え、機体上方へ巻き上がった噴霧粒子が送風によって流れる園外方向へのドリフトを少なくする。

(2) 次に、２列目から最外樹列と第２樹列を散布するときには遮風板を適度に閉じて風向と園外方向風速を調節することによって、園内側から園外側へ最外樹列を通して抜ける薬液のドリフトを少なくする。風向を調節することで最外列の枝葉がない樹体下方から抜ける薬液のドリフトを少なくし、送風機による園外側への風速を小さくすることで最外樹列の樹体を突き抜けるドリフトを少なくする。

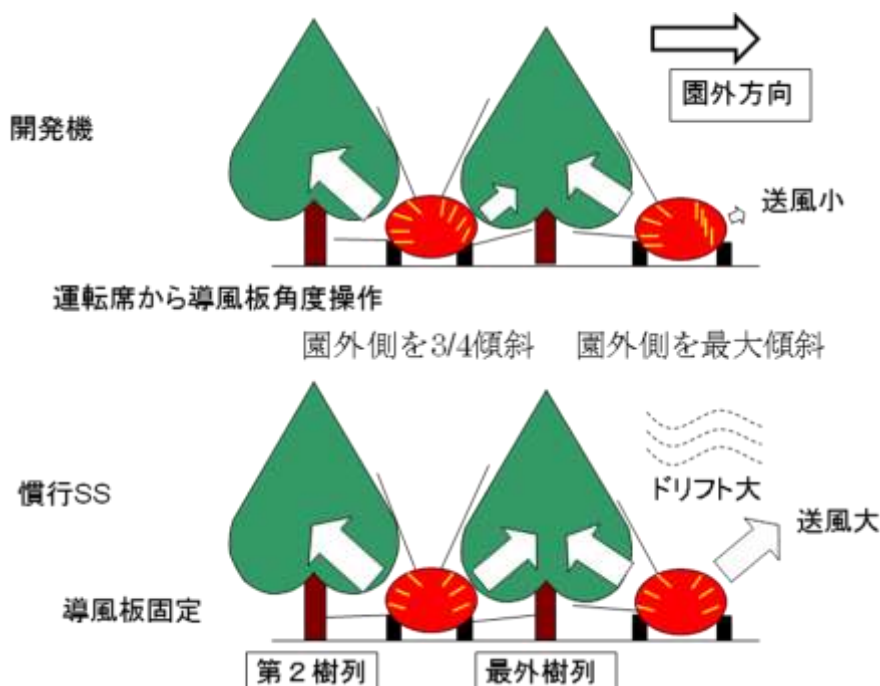



図４　開発機を利用したドリフト低減のための散布方法

### ２）速度連動装置の使用方法

使用方法は防除シーズン前に、散布圧 1.0MPa と 1.5MPa での１分間のノズルの噴霧量を速度連動装置の流量計で測定し、樹列間距離、10a 当り設定散布量とともに１分間のノズル噴霧量を操作パネルにより、コントローラに入力する（図５）。散布量は例えば、300 L/10a と 500 L/10a のように複数の設定が可能で、散布時期、繁茂の度合いに応じて操作パネル上から設定を容易に変更できる。一方、慣行 SS では取扱説明書にノズル噴霧量、樹列間距離、走行速度段から散布量を確認する表が記載されており、この表に基づいて設定散布量が得られる走行段、ノズルを選ぶ。したがって、容易にきめ細かく散布量の設定を変更す

ることが困難である。速度連動装置は流量計を備え、積算流量が表示されるので、実際に果樹園に散布した散布量を確認することができるので、これを記帳することにより、散布履歴を正確に記録可能である。

（a）開発機の散布量設定と制御　　　（b）慣行 SS の散布量設定と調節

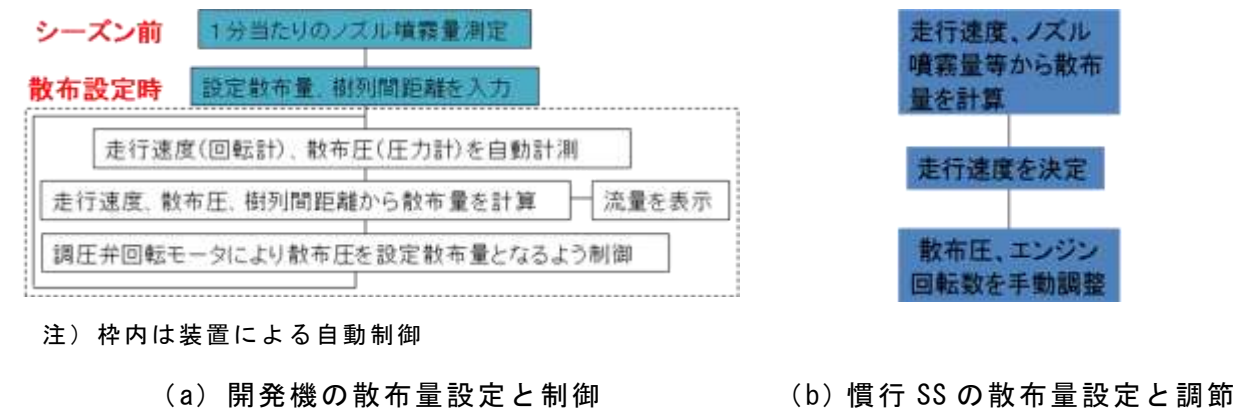



図５　速度連動装置の設定

## ３．果樹用農薬飛散制御型防除機の性能

### １）ドリフト低減効果

開発機のドリフト低減効果を調べるために、福島県農業総合センター果樹研究所内のわい化リンゴ園（樹列間 4.5m、樹間 3m、樹高約 3.5m、品種‘ふじ’）で、開発機および同クラス慣行 SS を供試して、薬液（ダーズバン、薬剤名「クロルピリホス」）を散布し、園外に設置したコマツナに付着した薬液量を測定した。慣行 SS は開発機と同クラスの 600L の薬液薬剤タンクを有する機種とした。慣行 SS にはコーンノズル（平均粒径 90μm）を装着した。散布量は両機種ともに 400L/10a に設定し、送風量は開発機 500$m^3$/min、慣行 SS560$m^3$/min に設定した。開発機の散布・導風板条件は、樹列に応じて次のように設定した。最外樹列と第２樹列を対象に散布し、最外列で最大傾斜（最大遮風）、２列目で導風板を最大角度より約 3/4 傾斜させた散布を行った。慣行 SS の散布条件は、最外列のみ園内側への片側散布を行い、2 列目では、両側散布を行った。自然風の平均風速は約 1 m/s で、自然風風向は園外コマツナ設置方向であった。

ドリフト薬液量を測定した結果、開発機は全ての地点で検出限界値の 0.01ppm 未満であったが、慣行 SS では園端から 10m で 0.35ppm、20m 地点で 0.08ppm となり、開発機の高いドリフト低減効果が認められた（表３）。また、導風板角度の変更は回行時に行うことが可能で、ほ場作業効率、能率は慣行 SS とほとんど変わらなかった。

表３　リンゴ園におけるドリフト低減効果

| 園端からの距離 (m) | 薬液ドリフト量(ppm) | |
|---|---|---|
| | 開発機 | 慣行 SS |
| 10 | 0.01 未満 | 0.35 |
| 15 | 0.01 未満 | 0.14 |
| 20 | 0.01 未満 | 0.08 |
| 25 | 0.01 未満 | 0.01 未満 |

注）検出限界 0.01ppm

2）付着性能

最外樹列の1樹冠内の地上高 0.5、1.5、2.5、3.0m、樹冠内 5 カ所の位置に園内・園外側および上下面の付着を調査できるよう、合計 80 枚の感水紙（大きさ 52×76mm）を設置し、付着度指数を求めた(図６)。散布試験では最外樹列と第２樹列を対象に最外列、第２列を走行し、清水を散布した。供試機、試験場所、散布条件、導風板設定はドリフト低減効果試験と同じ条件とした。

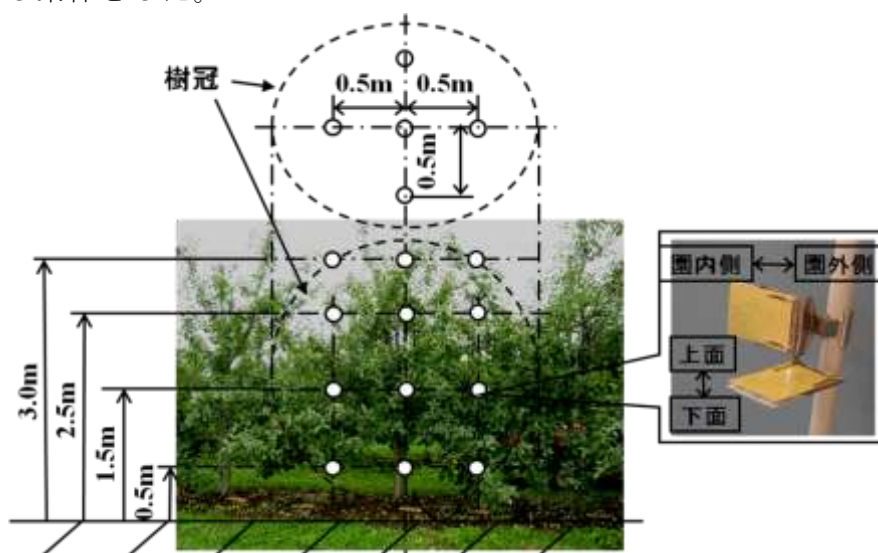



図６　付着性能試験における感水紙設置位置

開発機の付着度指数は、高さ 0.5m で付着度指数が 7.1 であり、慣行 SS の 3.6 より高く、1.5～3.0m の高さで同等であった（表４）。慣行 SS はノズル最低位置が開発機より高いことから高さ 0.5m での付着度指数が低くなったと考える。導風板の設定により園外方向への送風を弱めて散布しても、慣行 SS と同程度の付着性能が得られた。

表４　開発機の付着性能

| 地面からの高さ | 付着度指数(ー) | |
|---|---|---|
| (m) | 開発機 | 慣行 SS |
| 0.5 | 7.1 | 3.6 |
| 1.5 | 8.2 | 8.2 |
| 2.5 | 8.0 | 8.9 |
| 3.0 | 8.7 | 9.2 |
| 平均 | 8.0 | 7.5 |

3）防除効果

開発機の防除効果を調べるために、福島県農業総合センター果樹研究所内わい化リンゴ園（品種「ふじ」）で、３～９月に 15 回の薬剤散布を慣行 SS と同様に行い、防除効果を調査した。散布量は開発機、慣行 SS ともに３～５月は 300L/10a、６月～９月は 400L/10a に設定した。本試験は通年の体系防除効果試験として２年間実施した。防除期間後、出荷可能収量を調査し、比較した。

開発機、慣行 SS の両試験区で、斑点落葉病が発病したが、その程度は両試験区ともに同程度であった。他の病害については２年間で両試験区ともに発病が見られなかった。また、ナミハダニ、リンゴハダニの調査も行った結果、同程度の防除効果であることを確認した。

防除効果試験の結果より、開発機による薬剤散布は同クラスの慣行 SS と同程度の防除効果を期待できると考える。

表４　開発機の防除効果試験結果

| 部位 | 病害名 | 発病葉率、または、発病果率（%） | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 開発機 | | 慣行 SS | |
| | | H21 | H22 | H21 | H22 |
| 葉 | 斑点落葉病 | 0～1.2 | 0～0.4 | 0～1.2 | 0～0.6 |
| | 褐斑病 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | うどんこ病 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 果実 | 黒星病 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 炭疽病 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 褐斑病 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | すす点･すす斑病 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 輪紋病 | 0 | 0 | 0 | 0 |

収量については両試験区ともに平成 21 年度の出荷可能収量が多い傾向であったが、開発機と慣行 SS を同じ収穫年で比較すると同程度であり、慣行 SS と比べ、開発機の防除は出荷可能収量に影響を与えないと考える。

表５　防除効果試験での収量

| 機種 | 出荷可能収量（kg/樹） | |
|---|---|---|
| | H21 | H22 |
| 開発機 | 130 | 107 |
| 慣行 SS | 121 | 108 |

注）収量は５％水準で有意差なし

４）散布量制御精度

速度連動装置の散布量制御誤差を調べるために、走行速度を 0.4～0.7m/s、設定散布量を 300～500L/10a に変えて、20ｍの散布距離で清水を走行散布したときの実際の散布量をトラックスケールにより測定した。その結果、試験の範囲内では設定散布量と実散布量との差は５％以内であった。また、6.8a のわい化リンゴ園（岩手県農業研究センター内）に 450L/10a の設定散布量で清水を散布した結果、設定散布量と実散布量の差は４％で、高精度に設定散布量の薬液を散布できた。慣行 SS では設定散布量で確実に散布するために、エンジン回転数、散布圧を高精度に設定し、走行速度に応じて散布圧を手動で調節することは困難であり、散布毎に散布量にばらつきが生じるが、開発機を利用することにより高精度に設定散布量の散布が可能である。さらに、流量計が搭載されているので、ほ場毎の散布量を正確に把握し、記録することができるので、正確な散布履歴の作成に役立つと考える。

## おわりに

本研究は果樹園の防除におけるドリフトを低減する目的で、導風板により園外方向への送風を抑制し、粒径の大きく、流速の高いノズルを装着することにより、慣行 SS と同等の防除効果を得ながら、ドリフトを大きく低減できる果樹用防除機を開発した。また、速度連動装置の搭載により正確な設定散布量を散布できることを確認した。開発機は平成 23 年度市販化予定である。平成 22 年 10 月と 11 月にそれぞれ埼玉県農林総合研究センター園芸研究所、福島県農業総合センター果樹研究所で現地検討会を行い、開発機の実演を行うなど、開発機を紹介した。今後も開発機を積極的に紹介する等、普及促進のための活動を続ける予定で、安心・安全な果実生産に貢献していきたい。

開発機は樹高４ｍ以下、樹列間 4.5～８ｍの立木果樹に適用可能である。留意点としては、強風下で散布しない、過度の散布量としない等、ドリフトに関する基本的な注意事項を守る必要がある。本研究の推進に当たって、福島県農業総合センター果樹研究所、岩手県農業研究センター、東北農業研究センターには多大なご協力を賜った。記して深甚なる謝意を表する。

## 参考文献

１）水上智道・吉田隆延・宮原佳彦・猪之奥康治・太田智彦・山田祐一・安食惠治・牧野英二・臼井善彦・丸山製作所・ヤマホ工業(2009)スピードスプレーヤ用ドリフト低減ノズルの開発、生研センター研究報告会資料、34-43

２）太田智彦・猪之奥康治・山田祐一・宮原佳彦・水上智道・臼井善彦・齋藤貞文・丸山製作所・福島県農業総合センター・岩手県農業研究センター（2009）果樹用農薬飛散制御型防除機の開発－立木用１号機の構造と性能－、農業環境工学関連学会 2009 年合同大会講演要旨集（ＣＤ）、G64

３）太田智彦・金光幹雄・安食惠治・宮原佳彦・牧野英二・臼井喜彦・猪之奥康治・原野道生・丸山製作所・福島県農業総合センター(2008) 果樹用農薬飛散制御型防除機の開発－機能試験装置の散布試験、第 67 回農業機械学会年次大会講演要旨、127-128

４）生研センター（2006～2010）平成 18～22 年度生研センター事業報告

# 玄米乾燥調製システムの開発

生産システム研究部　　日高靖之、野田崇啓、横江未央
共同研究実施会社　　株式会社サタケ
株式会社山本製作所
株式会社大竹製作所

## はじめに

近年の原油価格の上昇傾向が農業経営を圧迫していることに加え、農業分野においても温室効果ガスの排出削減に積極的に貢献していくため、農業生産における化石燃料の使用を今後一層抑制していくことが求められている。農業分野では、施設園芸の暖房用を除けば土地利用型作物、特に米の乾燥工程における灯油の使用量が最も大きいことから、特に重点的な対策が重要である[1)2)]。

穀物乾燥の省エネルギー化では平成 10 年に緊プロで開発された遠赤外線乾燥機は従来の熱風だけの乾燥機よりも灯油で約10%の省エネ効果があるが、上記の情勢により更なる省エネルギー化が望まれている。そこで本研究では乾燥効率が良いと言われている玄米乾燥に着目しその要素技術の開発に至った。そもそも玄米乾燥については1970年代にHendersonが玄米は籾の約２倍で[3)]、Kunzeらが籾の数倍速く乾燥できる[4)]とした発表が発端となり、石油ショックの時代に国内でもいくつかの研究が行われてきた[5)6)7)]。近年に入ってからも、籾摺方法の進化や異なる乾燥方法の検討により精力的な研究が行われている[8)9)]。

本プロジェクトではこれらの成果を生かしながら現在の技術で玄米乾燥に必要な要素技術開発を行い、エネルギー面と品質面でシステム検証を行ったので報告する。

## １．IHP 方式（Impeller husk - Heat Pump dry system）

IHP 方式は高水分でも脱ぷ率の高いインペラ籾摺機とヒートポンプを使った乾燥機からなるシステムで以下の開発を行った。

### １）籾摺

高水分の籾を脱ぷする場合一般的にロール式籾摺機では脱ぷ率が著しく低下するのに対して、インペラ式籾摺機では脱ぷ率は高く維持できることが知られている[10)]。しかしながら、市販インペラ籾摺機で高水分籾を乾燥籾と同程度の処理量で処理した場合は、糠の付着によるパイプの詰まり（図１a）や選別物の機内滞留（図１b）等が発生することから、市販機の使用を想定した場合、多くの問題点が出てくることが示唆される。

a)脱ぷパイプの糠詰まり現象

b)選別物の機内滞留現象

図1　市販インペラ籾摺機で高水分籾を大量処理した場合の問題点

そこで、本装置は高水分籾を連続的に処理するため、①糠付着によるパイプの詰まりを回避するために、脱ぷパイプ径を市販機より太くするとともにパイプのエルボ角を緩やかに設定、②被選別物の

機内滞留を防ぐために、選別板１にフッ素樹脂をコーティングするとともに、選別板２の角度を 55°に設定、③バケットエレベータでの穀粒搬出を円滑にするために、選別板２からの角度を維持したシュートを採用、④脱ぷ作用を適正に調整するために、インバータによりインペラファンの回転数が変更できる等の特徴を有したインペラ籾摺機である（図２、表１）。

a）外観図　　b）側面図と改良点

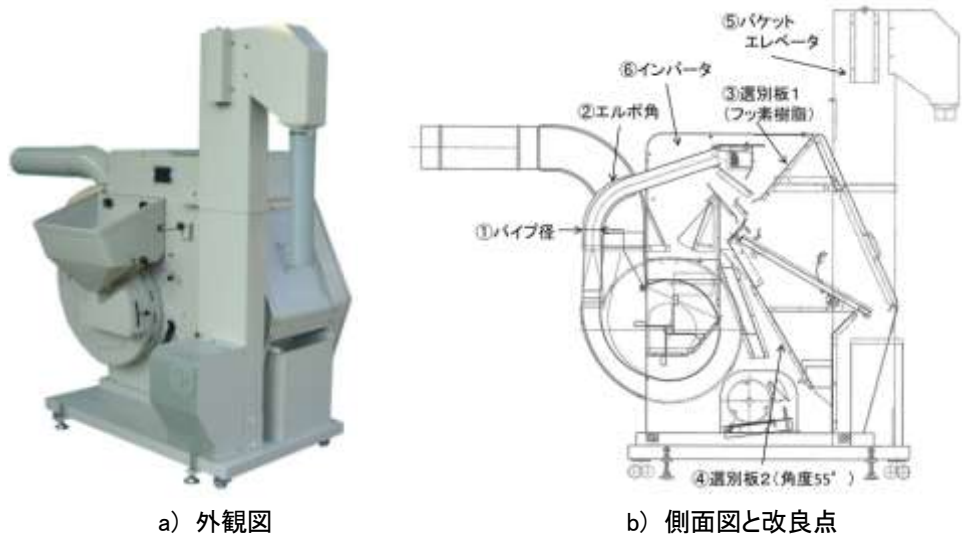



図2　開発した高水分対応インペラ式籾摺機の外観と改良点

表1　高水分籾対応インペラ式籾摺機の仕様

| | 項目 | 仕様 |
| --- | --- | --- |
| 本機外寸 | 全　長　(mm) | 1480 |
| | 全　高　(mm) | 1840 |
| | 全　巾　(mm) | 890 |
| 質　量　(kg) | | 193 |
| インペラ | 外　径　(mm) | 506 |
| | 巾　(mm) | 50（羽根巾） |
| インペラ回転数（rpm） | | 1700（標準） |
| 使　用　モ　ー　タ | | 三相200V 1.5kW |

※　インペラ回転数1950rpmまでインバータにて調整可能

## ２）乾燥

乾燥機は、$CO_2$ 冷媒ヒートポンプ給湯器（通称：エコキュート）を熱源として利用したヒートポンプ給湯ユニットと穀物乾燥部へ通風する空気の加熱ユニットおよび穀物乾燥部から構成される（図３）。

乾燥に投入するエネルギーはすべて電力である（表２）。空調用ヒートポンプの性能は外気温度の影響を受けやすく、15℃以下になると霜取りが入り穀層に送る熱風温度が安定しないため乾燥用の熱源として使えなくなる。また、埃でフィルターが目詰まりし性能に影響をおよぼすことが知られている。そのため、本装置では外気の影響を除くため温水を蓄熱媒体とするとともに、この温水を伝熱媒体として循環させ乾燥部の温水コイルで熱交換して、穀物乾燥に必要な熱風を作り出す方式とした（図４）。

乾燥機本体は、発芽玄米用の穀物循環式の乾燥機を採用し、循環中の肌ずれを極力防止するために横搬送のスクリューオーガを設けない、昇降バケットの間隔を開ける、集穀パイプの流量を制限する板を設けるなどの改良を施した。なお、乾燥機はステンレス製である。

a) ヒートポンプ給湯ユニット

b) 空気加熱ユニットと乾燥機

図3　ヒートポンプを使った穀物乾燥機の外観

表2　ヒートポンプの仕様

| | | | |
|---|---|---|---|
| ヒートポンプ給湯ユニット | ヒートポンプ | 型式 | RHK-15X |
| | | 設置場所 | 屋外型 |
| | | 定格電圧 | 三相200V(業務用低圧) |
| | | 最大電流 | 24A |
| | | 外寸 | 1850×900×450mm |
| | | 質量 | 200kg |
| | | 年間平均COP | 3.2 |
| | 貯湯ユニット | タンク容量 | 560l |
| | | 最大使用圧力 | 190kPa |
| | | 外寸 | 2176×685×790mm |
| | | 質量 | 92kg(満水時652kg) |
| 空気加熱ユニット | 加熱能力 | | 15kW/h |
| | 温度設定範囲 | | 外気温度以上50℃まで |
| | 温水ポンプ | 吐出量 | 30l/min |
| | | 電動機出力 | 0.25kW |
| | 送風機 | 風量 | 30m$^3$/min |
| | | 電動機出力 | 0.1kW |
| | 熱交換器 | 方式 | プレートフィンチューブ |
| | | 放熱面積 | 47m$^2$ |

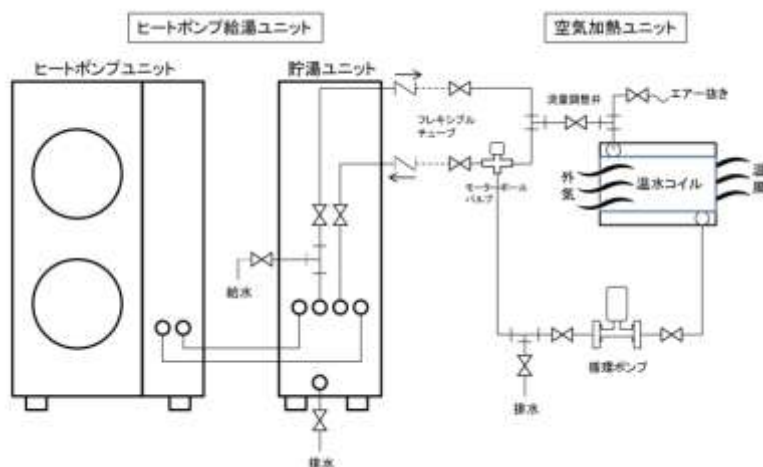



図4　ヒートポンプシステムの温水配管図

### 3）試験方法および結果

#### （1）方法

試験は改良したインペラ籾摺機で水分別に籾摺を行い、高水分玄米約 600kg を試作機に張込んだ。試料水分や外気等の試験条件、乾燥中の送風温・湿度、消費電力等を測定し、乾減率や乾燥エネルギー（穀物水分１kg を乾減するのに必要なエネルギー）等を調査した。乾燥した玄米についてはサンプリングし胴割れ等を測定した。対照区として自社製の遠赤外線乾燥機を設置し、同じ雰囲気条件下で試験に供した。

品質試験および貯蔵試験では玄米乾燥した米について、貯蔵形態２段階（玄米、精米）および貯蔵温度２段階（５℃、15℃）で、脂肪酸度と食味官能試験を測定した。分析は(財)日本穀物検定協会に依頼した。なお、食味官能試験は遠赤外線乾燥機で籾乾燥した米を対照区とした。

#### （2）性能

高水分対応型インペラ式籾摺機の脱ぷ率は 93.2～96.8％（水分 23.6 ～17.3％w.b.）であり、この

時の処理能力は 854kg/h～1068kg/h であった（表３）。20%w.b.を超える高水分籾を 4000kg 以上籾摺りした後も糠の付着や機内残留物はほとんどなく、連続した処理が可能であった。ただし、バケットエレベータ下部には若干の残留物があるため、品種を変える場合等は掃除の必要性を認めた。

水分 17.3～23.6%w.b.の玄米を乾燥したときの、乾減率は 0.84～1.00%w.b./h で既存の乾燥機と同程度であった。この時の乾燥エネルギーは平均 1.27MJ/kg・$H_2O$ となり、遠赤外線乾燥機に対し 75%省エネルギー乾燥であることを確認した（表３）。

表3 IHP 方式の玄米乾燥調製試験結果

| | 試験番号 | | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 試験日時 | 月/日 | 9/25 | 9/26 | 10/8 |
| 試験材料 | 品種 | | はえぬき | はえぬき | コシヒカリ |
| | 穀物質量 | 乾前(kg) | 619 | 662 | 662 |
| | | 乾後(kg) | 571 | 642 | 628 |
| | 水分 | 乾前(%w.b.) | 23.6 | 17.5 | 19.4 |
| | | 乾後(%w.b.) | 16.7 | 15.4 | 15.9 |
| 温・湿度 | 穀温 | ℃ | 23.8 | 26.3 | 27.4 |
| | 熱風温度 | ℃ | 30.2 | 33.0 | 34.1 |
| | 排風温度 | ℃ | 17.8 | 21.7 | 23.3 |
| | 雰囲気 | ℃ | 12.7 | 21.9 | 20.1 |
| | | %R.H. | 71.2 | 35.9 | 59.2 |
| 籾摺性能 | 脱ぷ率 | % | 93.2 | 96.8 | － |
| | 処理能力 | kg/h | 854 | 1064 | － |
| | 砕粒率 | % | 0.4 | 0.5 | － |
| | 胚芽欠損率 | % | 3.3 | 0.0 | － |
| 乾燥性能 | 乾燥時間 | h | 7.16 | 2.50 | 3.50 |
| | 乾燥速度 | %w.b./h | 0.96 | 0.84 | 1.00 |
| | 消費電力量 | kWh | 25.8 | 5.93 | 7.95 |
| | 乾燥エネルギ[1] | MJ/kg-$H_2O$ | 1.93 | 1.04 | 0.85 |
| | 胴割増加率[2] | 重胴割(%) | 18.8 | 0.0 | 7.4 |
| | | 軽胴割(%) | 16.2 | 0.0 | 3.6 |

1)穀物水分1kgを乾減するのに要したエネルギ。1kWh＝3.6MJで計算。

2)乾燥前後の籾1000粒を手剥きし、玄米透視器で目視判別。

（３）品質

平成 20 年～21 年度に度玄米乾燥した米の脂肪酸度は籾乾燥に比較して大きく、食味官能試験でも籾乾燥に比して低下する傾向であった。後藤ら[5]の研究においても同様の報告があり、玄米乾燥の難しさをあらためて追認することとなった。そこで平成 22 年度は、予備乾燥等を前提に初期水分の異なる籾を供して品質との関連性を調査した。水分別に玄米乾燥した試料では、水分が低いほど脂肪酸度が低く、食味乾燥試験でも籾乾燥した米と遜色ない結果となった（表４）。20%w.b.を目安に籾で予備乾燥するかまたは収穫時期を遅らせることにより、玄米乾燥時の品質低下防止になることを確認した。

表4 IHP 方式による米の品質試験結果（2010 年試験）

| 試験区 | 品種 | 水分 | 脂肪酸度 | 食味官能試験 総合評価 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | %w.b. | mgKOH/100d.m. | 信頼区間 ±0.245 | 有意差*) |
| 籾乾燥 | はえぬき/コシヒカリ | － | 9.7 | 基準 | |
| 玄米乾燥1 | はえぬき | 23.6 | 60.7 | −0.650 | － |
| 玄米乾燥2 | はえぬき | 19.4 | 26.0 | 0.100 | 0 |
| 玄米乾燥3 | コシヒカリ | 17.5 | 24.6 | 0.050 | 0 |

*)表中ののーは負に有意差有り。0は有意差無し。

### ３．PRR 方式（Preprocessing Roll husk - Rack dry system）

PRR 方式は、籾摺部に毎時処理量の大きいロール式籾摺機構を基本とし、高水分籾に対応するため前処理機能を付与する構造とした。乾燥部は籾殻混合乾燥で乾燥した籾殻と玄米を混合して吸着乾燥を行う籾殻混合貯留乾燥をベースとして､最小単位を 1t 容量としたラック管理によるシステムを考案し以下の通り開発した。また、本システムはシステム構築する上で荷受けを円滑にするとともに、籾摺作業時の効率向上と待機時間の回避を考慮して予備乾燥を前提とした。

#### １）籾摺

前述したとおりロール式籾摺機は時間当たりの処理量は多い物の水分が高いと脱ぷ率が低下する[10)]。そこで、前処理機構としては籾表面に熱風をあて一時的に加熱処理することにより、籾殻だけ脱水して脱ぷ率を向上させる仕組みとした。籾は穴の開いたベルトコンベヤ上で籾摺機まで搬送される間に下方より熱風を通風される。ベルトコンベヤの速度と灯油バーナの燃焼量により処理時間と温度を調節する方式とした（図５）。　高水分籾の瞬間加熱による脱ぷ率向上は戸次[11)]も取り組んでおり、脱ぷ率は向上するものの品質低下を示唆していたため､本装置では 90℃程度の温風を当てることとした。この他､平成 22 年度は籾摺の違いと品質との比較を行うために市販のインペラ式籾摺機も試験区に追加した。

図5　前処理機能付ロール式籾摺機

#### ２）乾燥

乾燥には籾殻混合貯留乾燥方式を採用した。本方式は日本車輌株式会社によって実用化され、現在共同乾燥施設を中心に普及している [12)]。５%w.b. に乾燥した籾殻と高水分玄米を混合貯留している間に乾燥を行い、停止水分になったら風選別により籾殻と玄米を分離する方式である。水分を乾減する媒体が熱風でなく、籾殻の吸着であるため乾燥エネルギーが少なく、循環を行わないため品質も損なわない可能性がある。本システムでは能率を上げるために、籾殻と玄米の混合回数と貯留時間を制御するとともに、籾殻と玄米が均一に混合するように専用の容器を開発し (図６)、自然落下による芯ぬけ作用を利用した混合するシステムを考案した。また、籾殻の乾燥はバイオマス燃焼炉（図７）を使って籾殻を燃焼した時の熱で籾殻を乾燥し、システム全体のエネルギーの低減を図った。

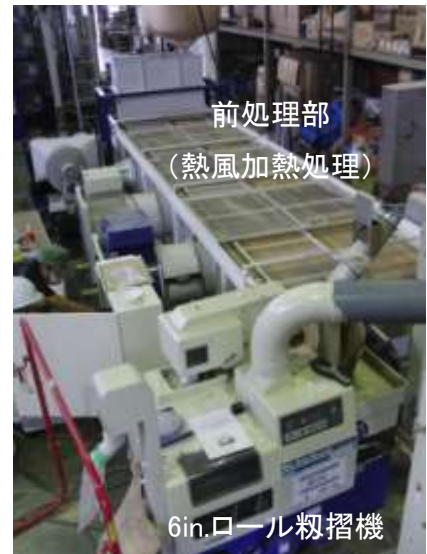



図6　籾殻混合貯留乾燥容器（1t）

図7　バイオマス燃焼炉

３）試験方法および結果

（１）方法

収穫直後の籾を乾燥籾殻と混合し水分 20%w. b. 付近まで予備乾燥した。この時の乾減率と胴割れ率等を求めた。次に予備乾燥した籾を、前処理機能付きロール籾摺機とインペラ籾摺機に供試し、脱ぷ率、肌ずれ率等を測定した。インペラ籾摺機については、予備乾燥の有用性を検討するため、予備乾燥籾と収穫直後の籾を供試した。なお、ロール籾摺り機の前処理は、事前試験より 90℃－90 秒の熱風加熱処理とした。（図８）

籾殻混合貯留乾燥では、籾殻水分５%w. b. の籾殻と玄米を専用の混合貯留器に混合・静置し、１時間おきに籾殻入れ替えを行った。籾殻混合乾燥中は容器から均等にサンプリングを行い、玄米および籾殻水分、乾減率を調査した。乾燥終了後は籾殻を分離し、胴割れ率測定や貯蔵試験用にサンプリングを行った。対照区として自社製遠赤外線乾燥機を設置し、同じ雰囲気条件下で試験に供した。（図８）

品質の調査については IHP 方式と同等の試験を実施した。

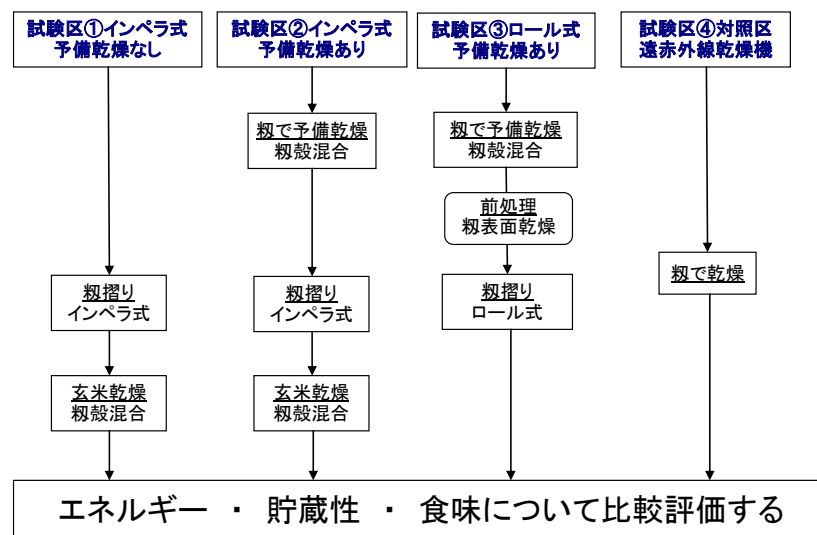



図8 PRR 方式における試験区設定

（２）性能

予備乾燥は、籾殻混合貯留乾燥にすることにより、乾減率 2.92%w. b. /h で目的の水分付近まで乾減でき、胴割れもなく作業が行えた。

籾殻混合による玄米乾燥では、籾殻を１時間おきに入れ替えしたため、平均乾減率 2.43%w. b. /h と高能率な乾燥が行えた（図９）。籾摺方法別に比較すると、予備乾燥＋インペラ籾摺試験区で胴割れ増加率や肌ずれ増加率が最も少なく、籾乾燥と遜色のない仕上がりとなった。またこの時の乾燥エネルギーも 3.4MJ/kg・$H_2O$ となり、遠赤外線乾燥機に対し 37%も省エネルギーであった（表５）。

（３）品質

IHP 方式と同様 PRR 方式の玄米乾燥した試料についても脂肪酸度は対照区の籾乾燥に比し高く推移した。PRR 方式は、予備乾燥したうえ、乾燥時の循環も少ないため脂肪酸度の絶対値は低いものの、食味官能試験は総合評価値が低下した。本年度は、予備乾燥＋インペラ籾摺機の試験区の米が、脂肪酸度の増加を抑制されると同時に、食味の低下もなく、籾乾燥に近い仕上がりとなった（表５）。

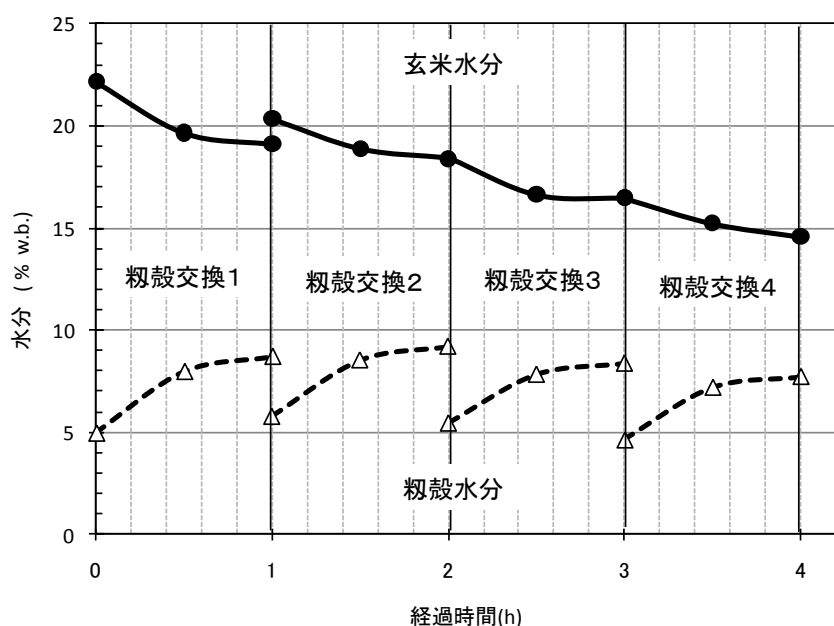



図9　籾殻混合貯留乾燥中の乾燥曲線

表5　PRR 方式の性能および品質比較試験結果

| 試験番号 | | | ① | ② | ③ | ④ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 試験区 | | | インペラ式<br>予備乾燥なし | インペラ式<br>予備乾燥あり | 前処理ロール式<br>予備乾燥あり | 対照区<br>（遠赤外線乾燥機） |
| 供試材料 | 品種 | | あきろまん | | | |
| | 籾水分 | % w.b. | 25.3 | 25.3 | 25.3 | 25.3 |
| | 玄米水分 | % w.b. | 26.1 | 24.1 | 25.6 | 26.1 |
| | 仕上玄米水分 | % w.b. | 14.5 | 14.6 | 14.7 | 14.3 |
| 籾摺性能 | 脱ぷ率 | % | 93.9 | 98.4 | 70.6 | |
| | 砕粒率 | % | 0.1 | 0.7 | 0.5 | |
| | 肌ずれ率（大） | % | 1.0 | 0.0 | 10 | |
| 乾燥性能 | 乾減率 | %w.b./h | 2.9 | 1.9 | 2.5 | 1.0 |
| | 乾燥エネルギ[1] | MJ/kg-$H_2O$ | 2.7 | 3.4 | 3.1 | 5.4 |
| | 胴割れ増加率[2] | % | 21.0 | 2.0 | 6.0 | 1.0 |
| | 肌ずれ増加率[3] | % | 1.0 | 0.0 | 10.0 | 4.0 |
| 品質 | 脂肪酸度 | mgKOH/100d.m. | 39.8 | 27.3 | 33.2 | 15.5 |
| | 食味官能試験<br>総合評価値 | 信頼区間<br>±0.304 | −0.400 | −0.250 | −0.350 | 食味基準 |
| | | 有意差[4] | − | 0 | − | |

1)乾燥エネルギーは籾殻を乾燥した時のエネルギも含む。
2)乾燥前後の籾1000粒を手剥きし、玄米透視器にて目視判別。
3)ヨウ素液による呈色面積で判別。
4)表中の－は負に有意差有り。0は有意差無し。

## おわりに

玄米乾燥は乾燥に係るエネルギーの低減に大きく貢献することを確認した。しかしながら品質の面での改善は必要であり、主食用途としては籾乾燥と同程度の品質を保つためのもう一歩の工夫が必要である。後藤ら[8]、山下ら[7]の研究にあるように精米流通を念頭に置いたクリン米貯蔵の技術体系を確立することにより低コスト化につながる可能性を大いに秘めているが、玄米検査、玄米流通が基本の現状では実用化が困難である。しかしながら、新規需要米のための低コスト乾燥調製技術や精米流通している海外での技術展開も視野に入れることにより、本技術の今後の展開の可能性が秘められており、多方面での検討を行って行く必要がある。

## 参考文献

１）鹿子嶋力：環境保全機構向上のための作業・作付け体系，木谷　収（編集）農業機械学会調査報告書 No.9，6-10，1994

２）後藤隆志：農業機械における省エネルギーと温室効果ガス抑制に関する研究成果と研究方向．平成 22 年度試験研究成績，生研センター，4-10，2010

３）Henderson, S .M.　: Combine hulling of rice potential and evaluation，No.72-333，　Annual meeting ASAE, Hot spring，Arkansas，1972

４）Kunzer, O. R.　et al.,　: Moisture adsorption related to the tensile strength of rice, Cereal chem.. 49(6), 684-696, 1972

５）後藤清和ら：玄米乾燥の実用化に関する研究（第１報）－玄米乾燥の基礎的特性－，農機誌 56(4), 21-26. 1994

６）劉　建偉ら：玄米乾燥の実用化に関する研究（第２報）－循環式乾燥機による玄米の乾燥－．農機誌 57(1), 17-23. 1995

７）山下律也ら：米のポストハーベストに関する新技術開発（１），農機誌 51(4),　71-75.　1988

８）後藤清和ら：クリン米による米備蓄の低コスト化に関する研究．科学研究費補助金（基礎研究（C）（2））研究成果報告書,　25-24.　2000

９）楊　志偉ら：穀粒の厚層乾燥特性に関する研究（第２報）－玄米乾燥への適用－，農業生産技術管理学会誌 14(1)，15-20，2007

10）農業機械学会：生物生産機械ハンドブック，コロナ社，821-827，1996

11）戸次英二：高水分もみをもみすりするための瞬間乾燥について，農機誌 50(4),　77-85.　1988

12）神山悦雄：籾殻混合貯留乾燥施設（SDS 方式）の特長について，農業機械学会シンポジウム第 13 回テクノフェスタ，さいたま，107-108．2009

# 高精度高速施肥機の開発

生産システム研究部　林　和信、紺屋　秀之、堀尾　光広
重松　健太、吉野　知佳
共同研究企業　株式会社ＩＨＩスター
株式会社ササキコーポレーション

## はじめに

我が国の農業で使用される肥料や肥料原料は、その供給のほとんどを輸入に頼っている。肥料原料の輸入価格は、新興国における食料増産、資源枯渇への懸念、産出国の国内需要を優先した施策等を背景に近年徐々に上昇を続けてきたが、2008年には原油価格とともに肥料原料の輸入価格も大幅な高騰を記録するに至った。価格高騰を招いた要因は今後も継続すると予測されるため、輸入価格は今後も高値で推移すると考えられている。肥料原料価格の高騰は、当然、生産者の肥料購入価格にも反映され、2009年度の水稲、大豆、小麦の10a当り肥料費を2008年度と比較[1)]すると約20%もの上昇となっており、生産物価格の上昇が期待できない昨今の状況においては、農業経営を圧迫する要因の一つとなっている。一方、価格高騰というコストに関わる要因だけではなく、安全・安心な農産物生産や環境負荷低減への関心の高まり等、農業生産を取り巻く環境の変化から肥料投入量の低減を基調とした施肥設計と、設計に基づく正確な施肥技術に対する関心が高まりつつある。また、近年は、高齢化を要因とする離農による農地の放出、農業生産法人の増加などを背景に農地の集積が進み、10ha以上の経営規模の経営体数の伸びが顕著となっている[2)]。これらの大規模経営体では、規模拡大のメリットを十分に発揮するためにも、従来よりも高い能率で作業を行うことのできる作業体系の確立が急務となっている。

このような情勢を前提に、施肥機の改良、開発の方針を検討すると、施肥量の調節性能（施肥量精度）の高さと作業能率の高さを両立する必要があると考えられる。施肥量精度の向上により、計画に基づいた作業が可能になり、適切な施肥設計が伴うことによって肥料投入量削減の可能性が見えてくる。同時に、作業が高能率で行えることにより、経営規模の大きな生産組織等での利用が促進され、肥料投入量の低減が一層期待できる。

以上のような背景に基づき、生研センターでは、株式会社ＩＨＩスターおよび株式会社ササキコーポレーションと共同で、高精度高速施肥機を開発したので報告する。

## １．開発目標

本開発においては、施肥量精度の向上と作業能率の両立が重要な課題である。そこで、開発のベースとする施肥機としては、施肥作業において最も作業能率が高いと考えられるブロードキャスタを選択した。ブロードキャスタは、構造が簡素なため低価格であることや、高い作業速度で幅広作業を行うために作業能率が高いこと等から、水稲作、畑作を問わず、主要な施肥機として広く利用されている。揺動筒あるいはスピナ（回転羽）にて肥料を拡散するため、長いブームを持たず高速走行に適しており、３m/s 以上で作業を行うことも可能である。

一方で、施肥量精度については、いくつかの問題点があると考えられた。まず、ブロードキャスタでは施肥量調整シャッタという簡易な機構（図１）で肥料の流量調整を行ってい

図１　施肥量調整シャッタ

るため、肥料の密度や粒径に起因すると考えられる流動性の違いによってシャッタ開度に対する流量が変化しやすい傾向がある。基礎試験において、シャッタ開度が一定の条件で、ブロードキャスタで一般的に施用される粒状化成肥料を繰出すと、流動性の違いにより約２倍の流量差が生じた（図２）。さらに、ヨウリンのような砂質の肥料までを含めると約３倍の流量差となり、この差を補正することが必要と考えられた。

※シャッタ開度を一定に保ち、物性の異なる５種類の肥料を１分間繰出した結果

図２　肥料の違いによる繰出量の違い（例）

次に、ブロードキャスタによる施肥作業においては、ほ場均平の程度、作物の立毛状態等により適切な作業速度を選択することにより、効率的な作業を進める必要があるが、現状のブロードキャスタでは作業速度の変化に対応して施肥量を一定に保つ機能（車速連動機能）を持つ機種は限定的であり、対応するトラクタの機種も限られている。

さらに、一般的なブロードキャスタの作業幅は 10m 程度であるため、作業者の感覚だけで隣接行程の間隔を正確に合わせることは困難である。個々の行程間隔の多少の変化は許容されると考えることもできるが、行程間隔の誤差が積もって、本来 10 行程で作業すべきほ場で 11 行程の作業を実施することは、肥料を１割近く多く投入することに直結するため、避ける必要がある。

以上から、本開発においては、次の４つの目標として開発に取り組むこととした。

図３　開発機の外観と構成

１）肥料の流動性を示す指標値を利用することにより、肥料の違いによらず安定した施肥量精度を得られること。

２）設定施肥量と作業速度が低い場合の低繰出流量に対応する施肥量調整シャッタを備える。

３）GPS 受信機から得られる速度情報に基づく車速連動機能を備えること。

４）GPS 受信機から得られる位置情報を利用した経路誘導機能を備えること。

## ２．開発機の構成

開発機は、大きく分類すると、FR 値測定装置、制御・誘導部、施肥機本体から構成される（図３、表）。

制御・誘導部には、GPS 受信機、施肥量制御機能、経路誘導機能等が含まれる。Ａ社開発機では、各機能が個別のユニットとして構成されており、各ユニットはＣＡＮ通信により連携動作する。Ｂ社開発機では、一体型コントローラに全ての機能が集約された構成となっている。施肥機本体は、一般的なブロードキャスタからの変更点は少ないが、少量散布に対応した施肥量調整シャッタおよびシャッタを駆動する電動アクチュエータが備えられている。

以下に、各構成要素について説明する。

表　主な仕様

| 項　目 | 内　容 | |
|---|---|---|
| | Ａ機 | Ｂ機 |
| 施肥機本体寸法<br>全長<br>全幅<br>全高 | <br>1620mm<br>1680mm<br>1000mm | <br>1240mm<br>1710mm<br>990mm |
| 質量 | 195kg | 143kg |
| ホッパ容量 | 600L | 500L |
| 繰出量調節方式 | シャッタ開度の調節 | |
| シャッタ駆動方式 | 電動アクチュエータ<br>（DC モータ） | |
| 肥料拡散方式 | 揺動筒式 | |
| 散布量設定範囲※ | ４～110kg/10a | |
| 散布幅 | 10m（肥料の性状で増減） | |
| 車速連動範囲※ | 3.6～11.2km/h<br>（1.0～3.1m/s） | |

※試作機によるほ場試験での設定範囲

### １）FR 値測定装置

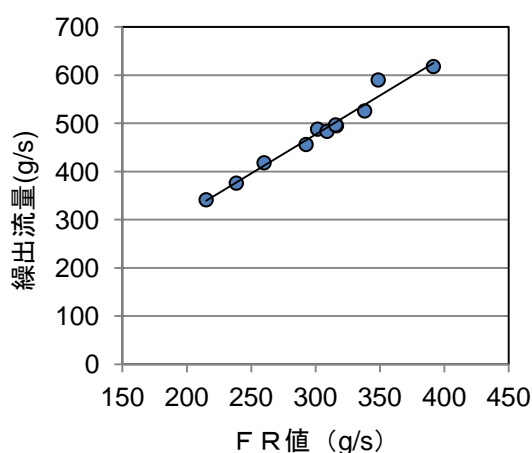
開発目標で述べたとおり、ブロードキャスタから肥料を繰出すと、肥料の流動性の影響を受けて時間当りの繰出量（繰出流量）に大きな差が生じる。そこで、開発機においては、肥料が漏斗状の容器から流下する際の流量（FR 値）とブロードキャスタの繰出流量が高い相関を持つ

※シャッタ開度を一定に保ち、11 種類の肥料を１分間繰出した結果。

図４　FR 値と繰出流量の関係例

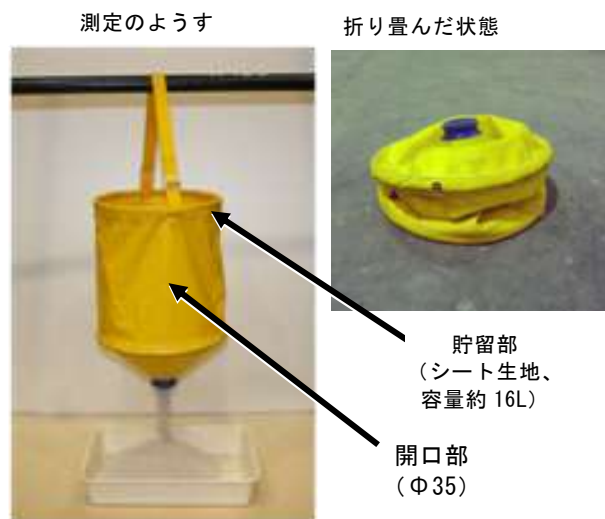



図５　FR 値測定器

こと[3,4]（図４）に着目し、施肥量制御装置の制御パラメータの１つとしてFR値を利用している。FR値は、容量16Lの貯留部を備え、底部にφ35mmの開口部が設けられたFR値測定器（図５）に肥料１袋（20kg）を２回に分けて投入し、開口部から肥料が流下する合計時間を測定することにより求められる。FR値測定器の貯留部はシート生地の縫製により製作されているため、使わない時は小さく折り畳むことができ、容易に携帯することが可能である。

## ２）制御・誘導部

### （１）GPS受信機

開発機の制御・誘導部では、GPS受信機から５Hzの周期で位置および速度情報を取得しており、車速連動機能や経路誘導機能の遅延時間が小さくなるようにしている。車速連動機能は、GPS受信機から速度情報を得ることにより、トラクタの対地移動速度を直接測定することができるため、ほ場条件の違いによるスリップ率変化の影響を受けることが無い。また、パッチタイプの小型アンテナをキャビン等の上部に載せるだけで利用できるため、DC12V電源が供給できるトラクタであれば、新旧や機種によらず車速連動機能や経路誘導機能を利用できるメリットがある。

### （２）施肥量制御装置

開発機の施肥量制御装置では、設定施肥量(kg/10a)、GPS受信機から取得した作業速度(m/s)、作業幅（m）に基づき、シャッタから繰出すべき肥料の繰出流量を算出する。また、後述する経路誘導装置を利用して作業を行う際には、経路誘導装置側で設定した誘導間隔が作業幅として利用される。算出された繰出流量には前述のFR値に基づく流量補正が行われ、最終的なシャッタ開度を決定する機能を備えている。つまり、FR値が大きい（肥料の流動性が高い）場合はシャッタを閉じる方向へ、FR値が小さい（肥料の流動性が低い）場合には開く方向に調節を行うことにより、肥料の違いによらず適切なシャッタ開度を設定し、正しい繰出流量が得られるようになっている。

### （３）経路誘導装置

経路誘導装置は、シンプルかつ施肥作業において効果的に利用できる装置とすることに留意しつつ開発した。経路誘導装置の機能、特徴は以下のとおりである。

①　誘導方式：開発機では、ほ場作業の１行程目の始点（基準点１）および終点（基準点

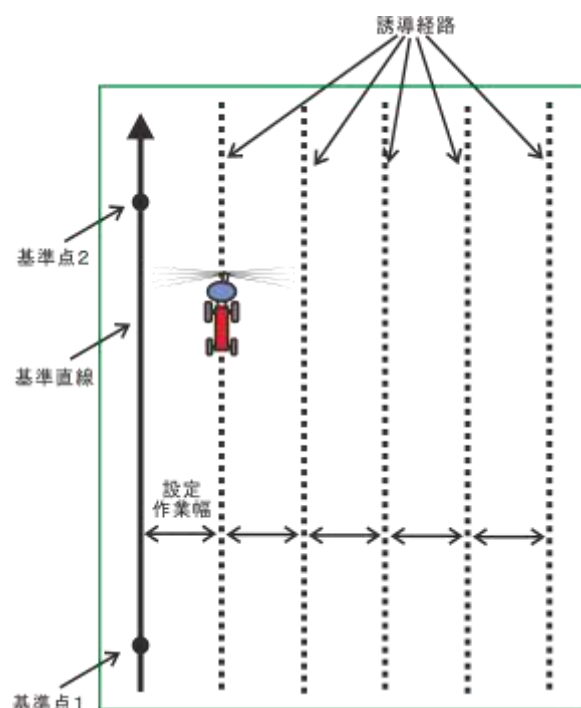



図６　経路誘導の方法

２）を記憶することにより得られる２点を結ぶ直線を基準直線とする。１行程目の作業を終えたトラクタは、基準直線と平行で予め設定した設定誘導間隔だけ離れた次の誘導直線上に誘導装置の画面指示等で誘導され直進作業に入り、同様の動作をほ場作業が完了するまで繰返し行う（図６）。誘導直線の位置は、常に基準直線を起点に計算されるため、行程数が増えても誤差が積算することが無いようになっている。

② 誘導指示の方法：誘導装置は、誘導経路からの作業機の距離、誘導経路に対する作業機の進行方向をグラフィックにより画面表示することで作業者を誘導経路上に導く（図７）。また、装置画面への過度な注視を避け、さらに、立毛中の作業などで装置画面を注視できない条件での利用を想定し、旋回中に次行程の誘導直線から一定距離手前の位置に到達した時や、直進作業中に誘導経路から逸脱した時にはブザー音で作業者に注意を促す機能も備えている。

③ 施肥量制御装置との連携：誘導装置と施肥量制御装置は連携して動作し、施肥量制御装置は誘導装置に設定した誘導間隔を考慮した演算に基づき繰出流量を算出する。

④ 装置のサイズ：開発した誘導装置は、シンプルな構成で小型であるため、トラクタのキャビン前方に運転時の視界を大きく妨げることなく設置できる。

図７　経路誘導装置の画面表示例

### ３）施肥機本体

施肥機本体のタンク底部には、設定施肥量が少ない場合や作業速度が低い場合に必要となる低繰出流量に対応する少量散布対応シャッタが取付けられている。ブロードキャスタでは、電動アクチュエータによりシャッタ開度を調節するが、シャッタを開閉するリンクやシャッタ自体に大きめの遊びが設けてあること、流量調節範囲が広いことなどから、一般に制御分解能は高くはな

く細かな流量調節が困難である。そこで、開発機では、通常のシャッタと比較してシャッタの回動角変化に対する開口面積の増加量を低く抑えた少量散布対応シャッタを開発し、設定施肥量が少ない場合や作業速度が低い場合でも、確実な繰出しが行うことができるようにしている。

図８　現地ほ場試験における作業のようす

## ３．開発機の性能

### １）ほ場試験における性能および機能の確認（図８）

開発機を用いた現地ほ場試験は、新潟県長岡市（水稲基肥、29 筆 8.9ha)、北海道岩見沢市（水稲基肥、18 筆 9.7ha)、同厚真町（小麦追肥、16 筆 22.4ha)、茨城県龍ヶ崎市（水稲基肥、21 筆 22.1ha)、宮城県大崎市（大豆追肥、13 筆 10.7ha）にて、施肥量精度と経路誘導装置の機能確認を中心に行った。

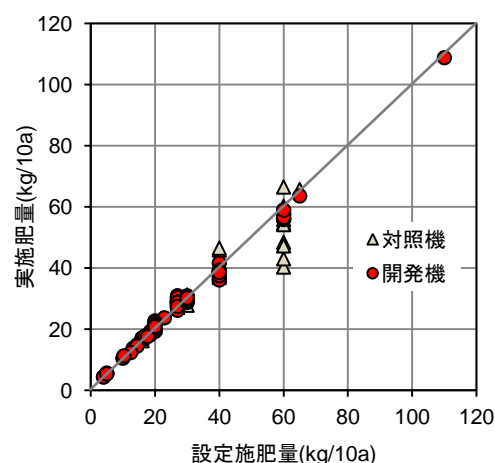
現地ほ場試験では、生産者が日頃から使用している肥料８種類を開発機で散布した施肥量は、生産者が指定したほ場毎の設定施肥量に従って設定し４～110kg/10a の範囲とした。また、開発機の運転操作も現地生産者に依頼し、厚真町の一部を除くほぼ全てのほ場で経路誘導装置に従った作業行程間隔での作業を行っていただいた。施肥量精度の確認は、ほ場１筆の施肥作業が終了する毎に、作業機全体の質量を吊下げ式のロードセルで測定することにより行った。また、対照区を設けることが可能だった試験地では、現地生

※試験条件
・供試肥料：８種類、FR 値 243～390g/s
・作業速度(ほ場平均)：1.0～3.1m/s
・ほ場面積：0.2～3.1ha／筆
・対照機：市販ブロキャス(車速連動なし)による慣行作業
・開発機は、試作２号機

図９　ほ場試験における施肥量精度

産者の所有するブロードキャスタ（車速連動機能なし）による慣行作業を対照区とした。

### （１）施肥量精度

開発機のほ場毎の目標施肥量に対する実施肥量は 90～114%の範囲、誤差は概ね 10%以下となった（図９）。GPS による車速連動機能、FR 値による流量補正が正しく機能することにより、作業速度、設定施肥量、肥料の物性が大きく異なる条件下でも安定した性能を発揮することができたと考えられる。また、一部の試験地では、開発機の操作に慣れた生産者が、施肥作業中に作物の生育状態を観察しながら施肥量制御装置の設定施肥量を変更するなど、開発機の機能が積極的に利用されることもあった。

・ほ場面積：0.42ha（106×40m）
・枕地は別行程として低速で作業

図 10　車速連動機能の効果

### （２）作業能率

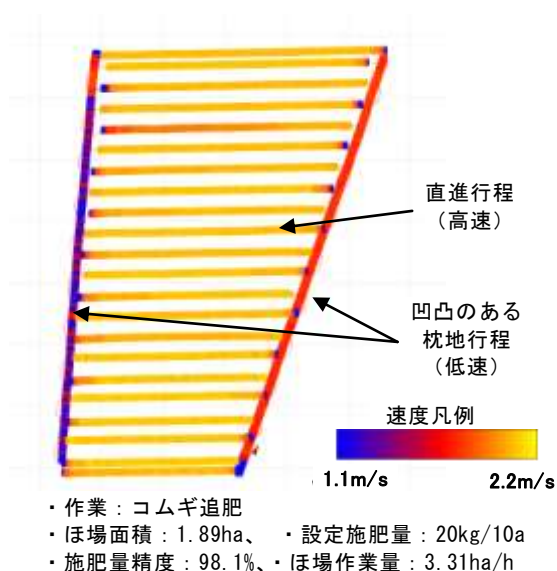
現地ほ場試験における肥料の投入、補給時間等を含まないほ場作業量は、開発機では1.5～7.6ha/h（試験条件確保のため、意図的に低速で作業を行ったほ場を含む）、対照機では1.8～5.5ha/h となった。対照区の作業速度は、施肥量精度を維持するために常に一定に保つ必要があったのに対し、開発機では１～３m/s程度の設定範囲で施肥量精度を維持しつつ円滑な作業を実施することが可能であった。

・作業：コムギ追肥
・ほ場面積：1.89ha、　・設定施肥量：20kg/10a
・施肥量精度：98.1%、・ほ場作業量：3.31ha/h

図 11　速度を変更した作業例

追肥作業では作物条や畦により生じた凹凸により枕地の作業速度を上げることが困難だったが、開発機の操作に慣れた生産者が、車速連動機能を活かし、ほ場条件に合わせてメリハリをつけた適切な作業速度を選択し、効率的に作業を実施することもあった（図11）。

### （３）経路誘導装置

図12は、経路誘導装置の効果を確認するために、生研センターの附属農場ほ場において、農場の技術専門職員を被験者として、誘導を行わず運転者の感覚だけで走行した際の走行軌跡（青線）と、開発した経路誘導装置を初めて使って走行した際の軌跡（赤線）を重ねて示したものである。

誘導装置を用いない場合、目安になる稲株や耕うん跡の有無、作業者の熟練度によって程度

は異なったが、作業行程数が多い場合には、一定の行程間隔と行程数を維持した作業を行うことが難しいことが分かる。一方、誘導装置を用いた走行軌跡（赤線）は、走行開始後の数工程はふらつきが見られるものの誘導経路から外れることはなく、後半はスムーズに等間隔での作業を行えたことを示している。

図 12 経路誘導機能の有無による走行経路の違い(例)

現地ほ場試験では、基本的に全てのほ場作業で経路誘導装置を利用したところ、試験期間を通じて開発装置は順調に稼働するとともに、設定した誘導間隔と作業行程数での作業を行うことができた。また、誘導装置を使用して作業を行った生産者の評価も概ね良好であり、ブームスプレイヤ等、他の作業幅の広い作業機での利用を望む意見もあった。

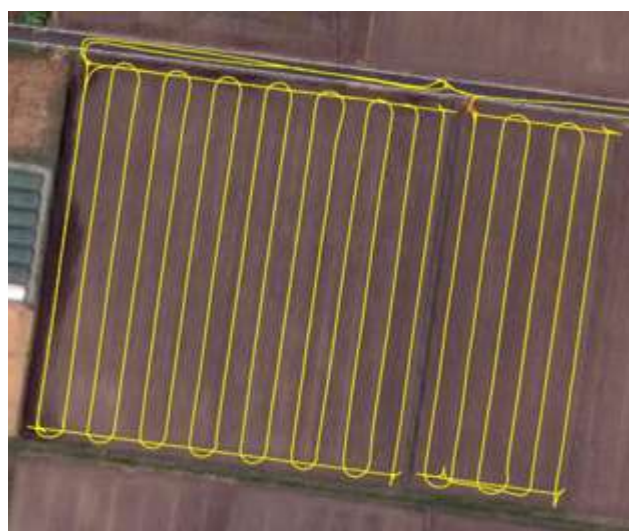



図 13 ほ場試験で経路誘導装置を利用した作業の軌跡

## ２）経路誘導装置の付加機能の開発

経路誘導装置については、現地ほ場試験を通して順調に稼働し、生産者の評価も概ね高かったが、より簡便な操作を望む意見もあった。そこで、経路誘導装置の操作性向上と散布作業中のボタン操作回数等の低減を図るため、以下を目標とする付加機能の開発に取り組んだ。

（１）ほ場作業の１行程目の始点（基準点１）において、ボタン操作を１度行うことにより１行程目の終点を判定し、基準点２および基準直線を自動的に設定する。

（２）ほ場の外周から作業を開始することにより、外周走行中にほ場の大きさを測定するとともに、ブロードキャスタで散布可能な幅の範囲内で最大の誘導間隔を自動的に設定する。

（３）ほ場内側の往復作業行程では、外周作業時に記憶した走行軌跡と作業機の位置、進行方向に基づき、作業機のシャッタ開閉を自動で行う。

図 14 は、開発した付加機能を利用した作業を想定しほ場内を走行した作業軌跡に、シャッタ開閉位置から GPS アンテナのオフセット距離を考慮し推定した肥料の落下位置を重ねて示したものである。施肥作業を開始する「散布 ON」の操作は基準点１の設定も兼ねており、「散布 ON」の後は、ほ場外周に沿って走行し、次いで内側の行程を誘導装置の指示に従って走行するのみで、施

肥作業が完了するため、誘導及び散布にかかる操作を大幅に簡略化することが可能である。また、付加機能を用いない作業では、畦畔から10m程度離れた位置で旋回時のシャッタ開閉を行う必要があるため、タイミングが合わず重複散布や未散布部分を生じることも多いが、付加機能を利用することによりシャッタ開閉が適切な位置で自動的に行われるため、施肥ムラの低減にも効果があると考えられる。

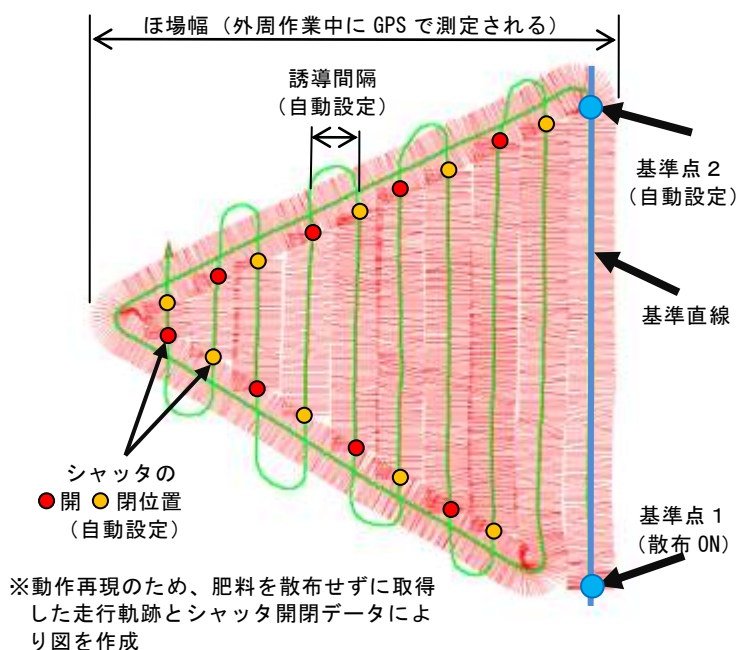



図14　付加機能を利用した作業の例

## おわりに

以上のように、開発機では、FR値を利用した肥料流量補正機能、GPSの速度情報を利用した車速連動機能、GPS の位置情報を利用した経路誘導機能等により、作業能率と施肥量精度を両立した施肥作業を容易に行うことが可能となった。緊プロ事業にて開発された本機は、開発目標を達成したと判断され、高性能農業機械実用化促進事業を経て2011年４月から市販化される予定である。

本研究の現地ほ場試験の実施にあたって、新潟県長岡市の神谷生産組合、北海道岩見沢市の森井農園、北海道厚真町のＪＡとまこまい広域および生産者の方々、茨城県龍ヶ崎市の横田農園、宮城県大崎市の三本木グリーンサービスの関係諸氏からは、基肥や追肥作業で大変忙しい中、我々の試験へ多大な協力をいただきました。厚く感謝申し上げます。

## 参考文献

１）農林水産省：大臣官房統計室、農業経営統計調査 平成21年度米生産費、大豆生産費、小麦生産費、2009

２）農林水産省：平成２２年版食料・農業・農村白書参考統計表、72-77、2010

３）生研センター：平成１７年度研究成果情報「ブロードキャスタの施肥量制御装置」、http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Seika/h1708.htm、2006

４）生研センター：平成１５年度事業報告、64-65、2004

５）生研センター：平成２０年度事業報告、34-35、2009

６）生研センター：平成２１年度事業報告、32-33、2010

# 水稲収穫作業における混入防止技術の開発

生産システム研究部　　　　梅田直円、栗原英治、嶋津光辰
中央農業総合研究センター　荻原　均、椛木信幸、玉城勝彦、渡邊好昭

## はじめに

平成 18 年に開催された農林水産省「米の農産物検査検討会」では、農産物検査における単一銘柄米として扱うための異品種混入の許容を４～５％とすることをとりまとめている[1)]。一方、平成 16～17 年に登録検査機関の銘柄証明のある玄米約 33,000 点についてＤＮＡ分析による品種を判別調査した結果では、460 点に４％以上の異品種の混入が認められており[2)3)]、混入防止技術を構築することは食の安全・安心を確保するうえで重要な課題である。

不可避的な混入の原因として、①自家採取における種子混入、②花粉飛散による交雑、③コンバイン、④乾燥機・もみすり機・調製機が挙げられている。コンバイン収穫における不可避的な混入は、品種切り替え時の機体内に残留する穀粒が主な原因である。穀粒が脱穀部で脱穀されてから排出されるまでの経路には、穀粒が滞留しやすい部位がある。それらの部位には清掃口が設けられている場合が多く、清掃することで多くの穀粒を除去することが可能である。しかし、コンバインの清掃に関しては、整備マニュアルの一部に掃除口の場所、掃除口カバーの外し方等の記載にとどまり、エアー等を使った効果的な穀粒の除去方法に関して記述されていない場合が多い。

そこで、コンバイン収穫作業における混入防止技術を構築するため、自脱コンバインの機体内残留量（以下、機内残）および混入の実態を明らかにし、混入率の推定方法を明らかにする。また、混入防止を目的としたコンバイン清掃マニュアル作成手法の開発について報告する。

## １．コンバイン収穫作業における混入の実態および混入率推定手法

### １）清掃による機内残の低減効果

清掃による機内残の低減効果について調査した。２条刈り自脱コンバインによって水稲を収穫し、排出オーガから排出した後シート上に設置した。掃除口を全て開放して揺動選別部を取り外した後、コンプレッサの圧縮空気（エアー）を使って清掃した。清掃した後の機内残を「清掃後」、機体内から排除されたシート上の穀粒を「清掃前」の機内残とした。また、農家が実施している清掃方法の例として掃除口を開放し穀粒の排出がなくなるまで脱穀・選別部を空転した後の機内残を「空転」とした。

清掃による機内残の低減効果を図１に示す。機内残は、清掃前では 2,350g 程度であったが、空転では 107g 程度となり、清掃後では 5g 程度となった。掃除口を開けて清掃することにより機内残は低減し、エアーを使って清掃することで混入防止効果が高いことが示唆された。

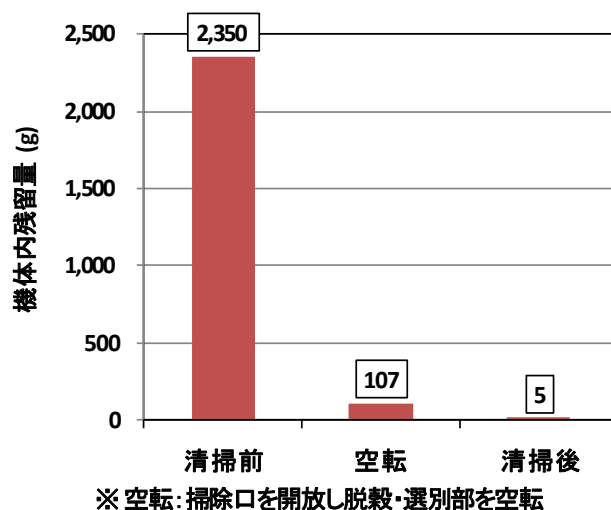



図１　清掃方法が機体内残留量におよぼす影響

### ２）積算収穫量と混入率

水稲収穫において品種を切り替えた際に発生する混入の変化を把握するために、積算収穫量と混入率との関係を調査した。２条刈りおよび４条刈り自脱コンバインを供試し、モチ品種を収穫した後にウルチ品種を収穫した。収穫開始から 10m 毎に穀粒口から穀粒を採取し、採取した調査区毎に混入率と重量を測定

した。採取した籾を玄米に調製した後、透過光を使ってモチ品種を選別し、調査区毎にウルチ品種への混入率を算出した（図２）。また、収穫開始から調査区までの穀粒の重量の積算値を積算収穫量とした。モチ品種収穫して排出した後、５分間脱穀選別部を空転しウルチ米を収穫した場合を「清掃なし」、５分間の空転後、掃除口を開放しエアーを使って清掃した場合を「清掃あり」とした。清掃の有無の条件について、積算収穫量に対する混入率の変化を比較した。

図２　透過光による玄米の判別方法

積算収穫量と混入率との関係を図３に示す。清掃ありでは、積算収穫量 100kg で混入は検出されなくなったが、清掃なしでは、積算収穫量 200kg で 0.001～0.01%程度混入が検出された。掃除口を開けずに脱穀部および選別部を空転しても多量に機内残が発生するため、継続的に混入が発生したと推察された。掃除口を開放し清掃することで積算収穫量 100kg 以降の混入発生はほとんど検出されないことから、供試したコンバインの場合、清掃すれば積算収穫量 100kg までの収穫物を隔離・排除することでさらに混入を低減できることが示唆された。

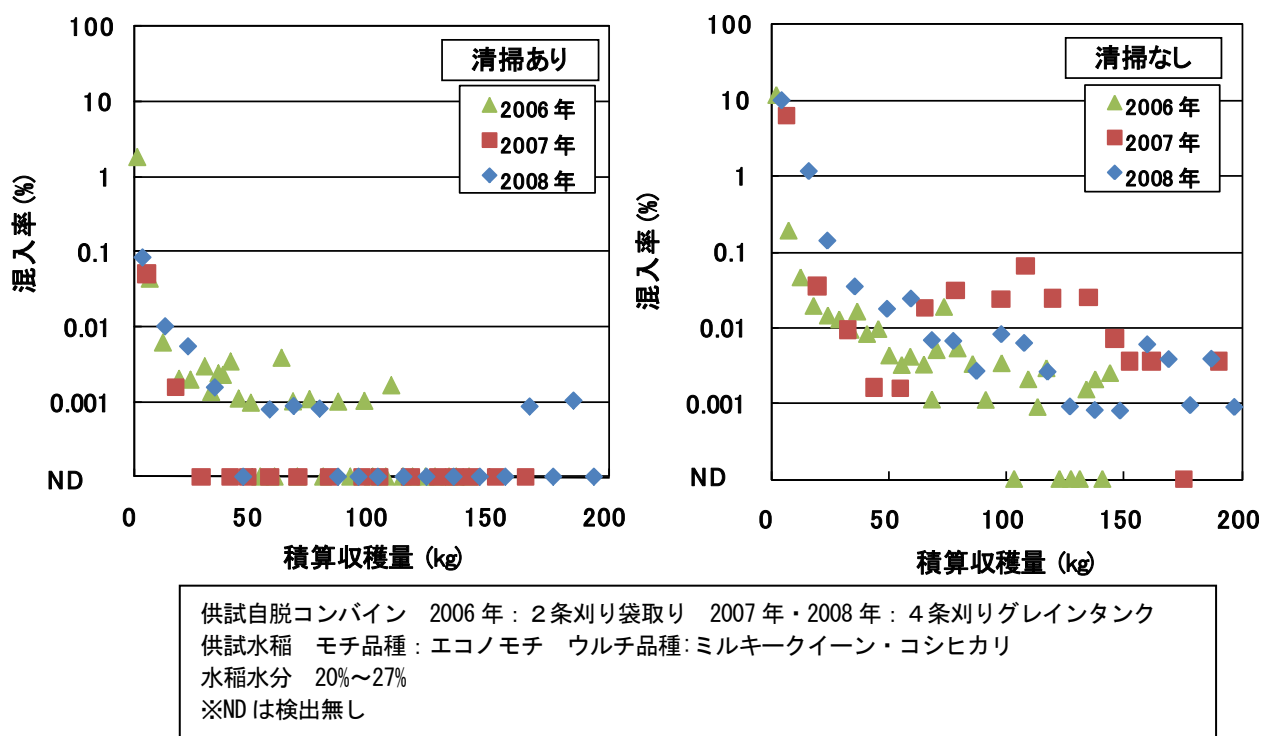



図３　積算収穫量と混入率との関係

### ３）混入率の推定

積算収穫量と混入率のデータから積算混入率を推定するための近似式を求めた。収穫開始から各調査区までを合わせたウルチ米に含まれるモチ米の混入割合を積算混入率とした。積算収穫量と積算混入率との関係を図４に示す。また、積算収穫量と積算混入率との関係を累乗近似し近似式を求めた結果、決定係数

$R^2$=1.00 と高い相関を得た。混入率を省力的に定量測定できる手法の１つであるリアルタイムＰＣＲ法の保証定量下限は $1×10^{-1}$%のオーダーであることから[4]、十分に検出限界を下回る値として積算混入率 0.01%未満となる積算収穫量を推定した。積算混入率が 0.01%未満となる積算収穫量は、近似式から「清掃あり」の場合、２条刈り自脱コンバインでは 370kg 程度、４条刈りでは 30kg～50kg 程度と推定された。また、「清掃なし」の場合、２条刈りおよび４条刈り自脱コンバインで 3,300kg～7,600kg と推定された。収量 480kg/10a のほ場を収穫したと仮定すると、積算混入率が 0.01%未満となるのに必要な収穫面積は、「清掃あり」の場合、２条刈りコンバインでは 8a 程度、４条刈りコンバインでは 1a 程度であるが、「清掃なし」の場合は 70a～160a 程度必要であると推定され、清掃による混入率低減効果が高いことが示された。

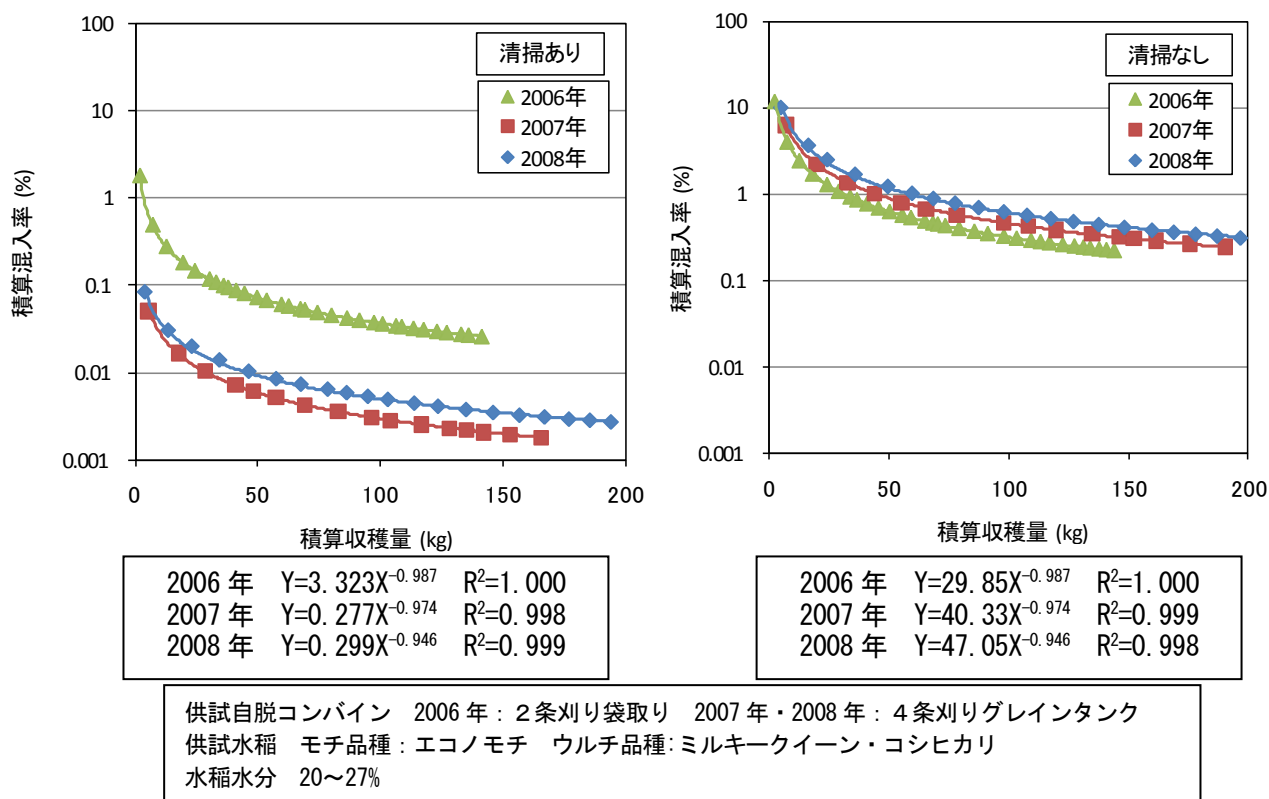



図４　清掃が積算混入率におよぼす影響

## ２．熟練者の清掃技術を導入したコンバイン清掃マニュアルの作成手法

### １）機内残に関する文献調査

生研センターで実施している自脱コンバイン（種子用）総合鑑定の結果から[5]、刈り取り条数、メーカーの異なるコンバインについて機内残を調査した。刈り取り条数およびメーカーに関係なく、清掃前の機内残は、1.9kg～5.2kg の範囲であったが、清掃後の機内残は 0.5g～6.2g の範囲であった。積算収穫量と混入率との調査結果から、清掃した場合には、４条刈り自脱コンバインでは積算収穫量 100kg 程度で機体内の穀粒がほぼ除去されることが明らかとなっている。従って、品種を切り替えて１回目に収穫されるタンクに機体内の残留穀粒が全て混入すると仮定した場合の混入率を想定混入率と仮称した。想定混入率は、調査時にマニュアルまたは構造等に問題のあった機種を除いて 0.01%未満であった。総合鑑定検査では、コンバインの構造をよく知った開発技術者等の熟練者が清掃する場合が多く、高い清掃技術を有しているために高精度な清掃が可能であったと推察された。これらのことから、熟練者の清掃技術を導入したコン

バイン清掃マニュアルを作成しコンバイン清掃に経験の浅い作業者に提示することで、より効率的な清掃が可能になると示唆された。

表１　機内残に関する調査結果

| 条数 | メーカー | 籾重量 | | 想定混入率 |
|---|---|---|---|---|
| | | 掃除前(kg) | 掃除後(g) | (%) |
| 2 | A | 0.7 | 13.9 | 0.005 |
| | B | 2.0 | 0.7 | 0.000 |
| 3 | C | 2.2 | 1.6 | 0.000 |
| | C | 2.2 | 48.4 | 0.012 |
| | C | 2.1 | 2.6 | 0.001 |
| | C | 2.7 | 1.3 | 0.000 |
| 4 | B | 1.9 | 3.2 | 0.001 |
| | C | 3.0 | 0.5 | 0.000 |
| | B | 1.3 | 2.9 | 0.000 |
| 5 | B | 3.6 | 18.0 | 0.003 |
| | C | 5.2 | 8.2 | 0.001 |
| | A | 2.6 | 4.6 | 0.001 |
| 6 | B | 2.0 | 6.1 | 0.001 |
| | C | 2.5 | 4.0 | 0.000 |

網掛けは、調査時、マニュアルまたは構造等に問題があった。ただし、現在は改善済みである。

### ２）ナレッジについて

ナレッジとは、企業や作業者の有益な知識・経験・事例・ノウハウなど付加価値のある情報である [5]。この場合の知識・情報とは単なるデータである「形式知」だけではなく、経験則や仕事のノウハウといった、普段はあまり言語化されない「暗黙知」までを含んだ幅広いものを指す。熟練者のナレッジを抽出・整理・管理することで技術を伝承でき、ナレッジを組織全体で共有し、有効に活用することで業績の向上を図る経営手法をナレッジマネージメントという。農業においても熟練者の知識や技能を継承する手法の１つとして、農作業ナレッジの摘出方法が提案されている [7]。農作業ナレッジは、定型的知識（一般的知識と経営固有知識）、感覚運動系技能（感覚系技能と運動系技能）、知的管理系技能に分類でき、それぞれの摘出方法は異なっている。コンバイン清掃では、特に感覚運動系技能および知的管理系技能が重要であり、これらの技能を摘出するには、実作業を記録した映像および映像を提示したインタビュから摘出する手法が提案されている。

### ３）清掃ナレッジの摘出

ナレッジを導入したコンバイン清掃マニュアル（以下、ナレッジ清掃マニュアル）の作成手順を図５に示す。導入手順は、まず、清掃ナレッジを摘出・整理し、次に、文章化する。

清掃ナレッジを摘出するため、熟練者の清掃作業をビデオ撮影し、その映像を熟練者に提示しながら作業に関する知識をインタビュ形式で聞き取る。ビデオ撮影では、移動・固定ビデオカメラによってコンバインを含む作業者の移動経路や動きを撮影し、作業の流れを観察する。また、帽子等に固定した小型ビデオカメラによって手元作業を撮影し、作業の詳細を観察する(図６)。インタビュでは、最初に、作業した熟練者に作業全体に対する注意点等について聞き取り、次に、作業ビデオを提示し、「なぜそうしたか？」や「どうしてそう判断したのか？」等の質問によって作業の動機および判断基準を聞き出す。また、作業した熟練者だけではなく他の熟練者にも参加してもらうことで、作業工程の修正、作業判断の見直し等があり、新たな手法を導入できる。

図５　ナレッジ清掃マニュアルの作成手順

a) 作業全体の撮影

b) 手元作業の撮影

図６　清掃作業のビデオ撮影の様子

### ４）清掃ナレッジの整理

清掃ナレッジを整理するため、技能分析表を作成する（図７）[8)9)]。ビデオ映像から「工程」、「作業内容」、「具体的な行動の仕方」、インタビュから「行動のポイント・判断の基準」をまとめる。「工程」は大まかな作業の流れ、「作業内容」は「工程」のより詳細な作業について、段取りに関するナレッジを整理する。また、「具体的な行動の仕方」は、道具の使い方や作業方法について、「行動のポイント・判断の基準」は、その作業を行う理由や終了するときの基準、道具を使う場合の力加減など、作業のカンやコツについて整理する。

| 工程　作業内容 | 具体的な行動の仕方 | 行動のポイント・判断の基準（作業者） |
|---|---|---|
| 1. 作業準備 | | |
| 2. フタ，カバー，パーツの取り外し | | |
| 3. 車体とパーツの清掃 | | |
| 3.4 選別部・カッター部のエアー吹き | | |
| | ・選別部内（側面，揺動流板のレールと接続部，唐箕，1番2番横ラセン）にエアーを吹く。 | ・選別部上，横の隙間，クローラ上の隙間，車体後方の順に吹く。<br>・1番2番にエアーを吹くときには，それらが唐箕に戻らないように気をつける。 |
| 4. フタ，カバー，パーツの取り付け | | |

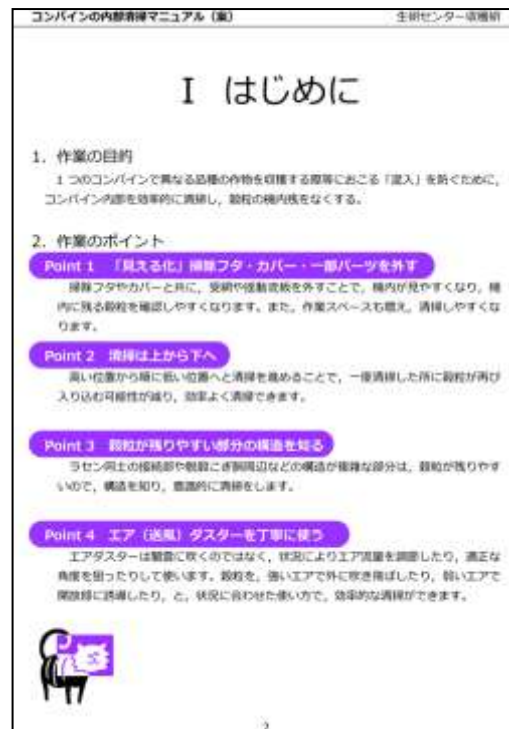
注：技能分析表の項目は、「技能伝承マニュアル」（森和夫著；JIPM ソリューション）に従った。

図７　技能分析表の例

### ５）清掃ナレッジの文章化

ナレッジ清掃マニュアルの作成例を図８に示す。作成されたナレッジ清掃マニュアルは、「Ⅰ章　はじめに」、「Ⅱ章　作業環境」、「Ⅲ章　作業手順」から構成されている。Ⅰ章は、清掃マニュアルの作成意図から想定される利用場面に応じた「作業の目的」と清掃作業全体を通して気をつける点やコンセプトをまとめた「作業のポイント」から構成される。Ⅱ章では、作業場所、必要な道具・装備、作業者に必要な条件等についてまとめた。Ⅲ章は、作業の判断や次の作業への準備を行うのに必要な全体作業の順番と作業計画を立てる目安となる作業時間をまとめた「作業の流れ」と、個々の作業に関わるカンやコツをまとめ

た「個別作業」とから構成されている。

a) 表紙

b) Ⅰ章　はじめに

c) Ⅲ章　作業手順「作業の流れ」

d) Ⅲ章　作業手順「個別作業」

**図８　ナレッジ清掃マニュアルの例**

技能分析表からナレッジ清掃マニュアルへの文章化の例を図９に基づき示す。Ⅰ章の「作業のポイント」では、インタビュで最初に聞き取った作業全体を通して気を付ける点をもとに記載する。Ⅲ章の「作業の流れ」は、技能分析表の「工程」、「作業内容」に従って作業全体の順序を記載し、「具体的な行動の仕方」に従って個別作業の順序を記載する。個別作業には「行動のポイント・判断の基準」のカンやコツを図や

赤文字等を使って記載する。

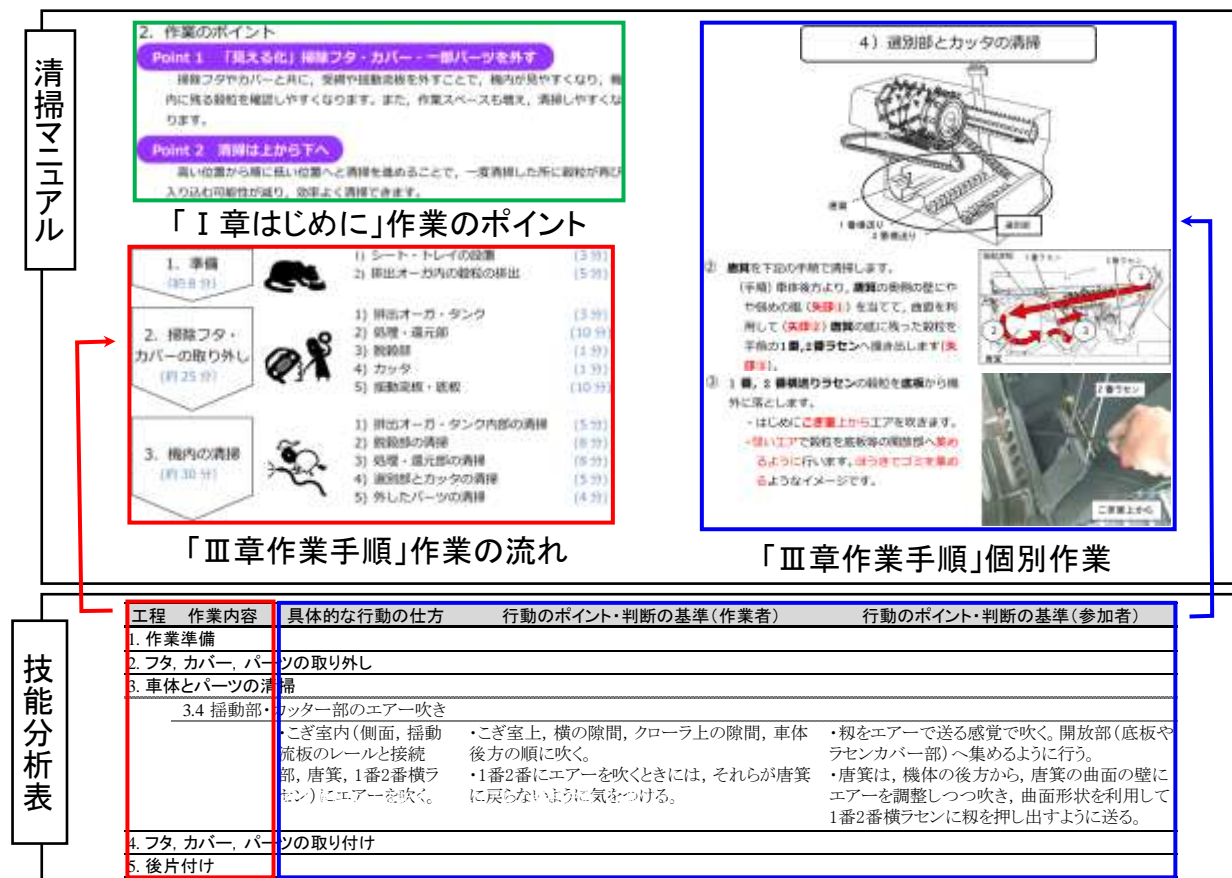



図９　技能分析表からナレッジ清掃マニュアルへの文章化の例

６）ナレッジ清掃マニュアルの機内残低減効果

ナレッジ清掃マニュアルの効果を明らかにするために従来のマニュアルとの比較試験を行った。供試したコンバインはナレッジ清掃マニュアルが作成されている２条刈り自脱コンバインとし、被験者はコンバイン清掃の経験の少ない作業者とした。対象作物は水稲（品種：朝の光、籾水分 15%、わら水分 63%）とした。試験方法は、まず、コンバインでタンクが満杯になるまで収穫し、オーガより籾を排出する。コンバインをブルーシート上に設置した後、被験者によって清掃を行い、清掃時間、機内残を測定した。収穫から測定までを、従来のマニュアルに従って３回繰り返した後、ナレッジ清掃マニュアルに従って１回行った。

清掃マニュアルの効果の例を図 10 に示す。ナレッジ清掃マニュアルを使うことによって、機内残は従来と比較して低減した。清掃時間は従来とナレッジで同程度であることから、経験の少ない被験者がナレッジ清掃マニュアルから熟練者の技術を学習することができ高精度

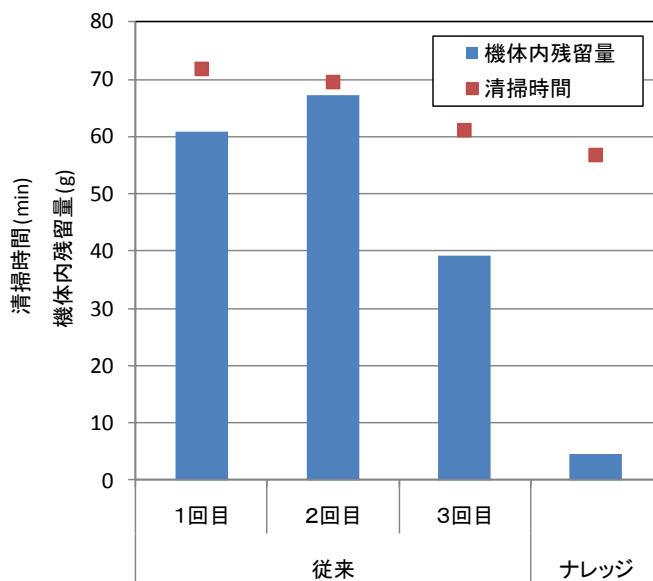



図 10　清掃マニュアルの効果の例

な清掃作業を行うことができたと推察された。

## おわりに

自脱コンバインによる水稲収穫作業における混入防止技術を構築するため、収穫作業における混入の実態から混入率推定手法を導き、熟練者の清掃技術を導入したコンバイン清掃マニュアルの作成手法を開発した。コンバイン収穫における混入の主な原因である機体内に残留する穀粒重量は掃除口やカバーを開放して清掃することで低減でき、積算混入率が0.01%未満となるのに必要な収穫面積は、「清掃なし」は「清掃あり」の 10 倍程度必要と推定され、混入防止にはコンバインの機内清掃が重要であることが示唆された。また、熟練者のナレッジを導入した清掃マニュアルを開発し、このマニュアルを参照することで機内残が低減し高精度な清掃作業を行うことができた。

現在、海外では、遺伝子組換え作物の栽培面積が１億 ha を超える規模まで普及・拡大している。EU では、2009 年に公表されたトウモロコシの共存に関する「Best practices」で、遺伝子組換え作物の混入の許容値が 0.9%と定められている。日本では、遺伝子組換え作物の普通栽培は普及していないが、世界基準をクリアし安心・安全な穀物を提供するためにはより高度な混入防止技術を構築する必要がある。本課題では、収穫作業における混入を防止するために必要なコンバインの周辺技術の開発に取り組んだが、機内残低減にはコンバイン本体の改良等も必要である。

なお、本研究課題は、農林水産技術会議委託プロジェクト「遺伝子組み換え生物の産業利用における安全性確保総合研究」の予算で実施された。

## 参考文献

１）農林水産省：米の農産物検査等検討会資料、2006
２）農林水産省：プレスリリース資料 「平成 16 年産米の農産物検査のＤＮＡ分析による品種判別調査結果」、2005
３）農林水産省：プレスリリース資料 「平成 17 年産米の農産物検査のＤＮＡ分析による品種判別調査結果」、2006
４）日野明寛：ＧＭ食品検査のための新しいＰＣＲ法の開発、食総研ニュース No.3、2002
５）生研センター：自脱コンバイン（種子用）総合鑑定成績、1993～2001
６）松村明：大辞泉
７）山本淳子ら：農作業ナレッジの種類と摘出方法、平成 21 年度関東東海北陸農業研究成果情報、2010、(http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2009/03kan_list2009.html)
８）森和夫ら：技能伝承マニュアル、JIPM ソリューション、2007
９）森和夫：技能・技術伝承ハンドブック、JIPM ソリューション、2005

# 高効率ネギ調製機の開発

園芸工学研究部　　　　　　　藤岡　修、貝沼秀夫
大森定夫（現農研機構本部）
秋田県農林水産技術センター　本庄　求、鵜沼秀樹
株式会社マツモト　　　　　　松本　弘、木暮朋晃

## はじめに

長ネギ(白ネギ)は比較的機械化が進んでいる作目の一つである。野菜作で常に問題となる収穫・調製作業についても、農業機械等緊急開発事業（緊プロ事業）で開発した自走式収穫機や全自動調製機などの活用が図られ、移植・管理作業を含め機械化一貫体系がほぼ確立されつつある。

一方、機械化が進むにつれて新たな課題も生じてきている。例えば、より高能率に皮むきを行うために、圧縮空気の供給源であるエアコンプレッサが大型化する傾向にある。それに伴って電力消費量の増大を招き、電力設備の変更を余儀なくされる場合もある。

また、長ネギの出荷は個選共販体制をとる産地が多く、それぞれの農家が皮むき作業後に太さなどの出荷基準に応じて選別している。太さによる選別は作業者が目視で行うことが多いため、共販体制をとる産地では選別結果のばらつきを小さくするために、目揃い会や抜き取り検査などを行っている。太さや形状による自動選別機もあるが、共同で調製や選別作業を行う施設での利用が主流である。

以上のことから、空気使用量を減らして小型のエアコンプレッサでも高能率に皮むきができ、また、太さ判別機能を利用して誰でも容易に太さ選別ができる、新しいネギ調製機を開発した。

なお、本課題は農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」で採択された「寒冷地での夏取りネギ栽培を基幹とした高効率機械化体系の確立」の課題（秋田県、中央農研、生研センター）で取り組んだものであり、(株)マツモトと共同研究契約を結んで実施したものである。

## １．これまでのネギ調製機

慣行のネギ調製機は、作業台または凹型の溝の左右にノズルを固定し、コンプレッサから供給される圧縮空気をネギ表面に吹き付けて、不要な皮をはぎ取っている（図１）。ノズルから噴き出した圧縮空気がネギ表面の狭い範囲に集中して作用するため、作業者はネギをひねりながら表面全体にまんべんなく圧縮空気を当てる必要がある。

また、近年の野菜輸入量の増加に対抗して国内産地を活性化するため、生産労働時間の約半分を占める調製作業の省力化が課題となっている。そこで、生研センターでは長ネギの全自動調製機の開発に取り組み、平成 14 年にこれを実用化した（図２）。全自動調製機は、作業者が葉を３枚に残す前処

図１　慣行機による皮むき作業

図２　全自動長ネギ調製機

理を行い、後は根切り・皮むき・葉切りを機械が行うなど省力化が図られている。また、騒音源を防音カバーで覆うことができ、最大で 10 dBA 程度の騒音低減効果が得られた。現在、個別農家や農業生産法人、共同調製選別施設（図３）において導入が進んでいる。

図３　共同調製選別施設での利用例

## ２．新しい皮むき技術の検討

慣行の皮むき機は圧縮空気がネギ表面に当たる範囲が狭いため、ネギをひねる動作が必要となり時間を要する。作業能率を向上させるためには、ネギ表面の広い範囲に圧縮空気を当てることが重要となるが、ノズルの本数を増やすと空気使用量の増大、エアコンプレッサの大型化を招いてしまう。

一方、工業分野では、水分除去やバリ取りのために回転ノズル（以下、工業用回転ノズル）を使用する例がある。回転ノズルは、ラッパ状に開口したノズルカバーと圧縮空気を通す樹脂素材等でできた柔軟なチューブで構成される。ノズルカバーの内壁に沿ってチューブが回転しながら圧縮空気を噴射し、圧縮空気の作用範囲が広くとれることが特徴である。

そこで、この工業用回転ノズルを長ネギの皮むきに適用するとネギ表面の広い範囲に圧縮空気を当てることができ、作業者はネギをひねらずに手前に引き抜くだけで皮むきができると考えた。皮むき時間（圧縮空気の噴射時間）が短縮できれば、作業能率の向上と空気使用量の節減につながる。

まず初めに工業用回転ノズルの特性を把握するため、回転ノズルと慣行の皮むき機で使用されているノズル（以下、慣行ノズル）を用いて、圧縮空気の噴射圧力分布を調査、比較した。噴射圧力の測定には、格子状に電極を配置したシート状の感圧センサを有する面圧力分布測定システム「I-SCAN」（ニッタ(株)、センサ部:84mm×84mm、格子点数:44 点×44 点;図４）を用いた。回転ノズルは「SGR-90」（(有)ガリュー、チューブ内径 2.5mm;図５）、慣行ノズルは２頭口の皮むき用ノズル（(株)マツモト、噴射口径 2.5mm×２口；図６）を供試した。調査は、圧縮空気の圧力を 0.4～0.6MPa の３段階、感圧

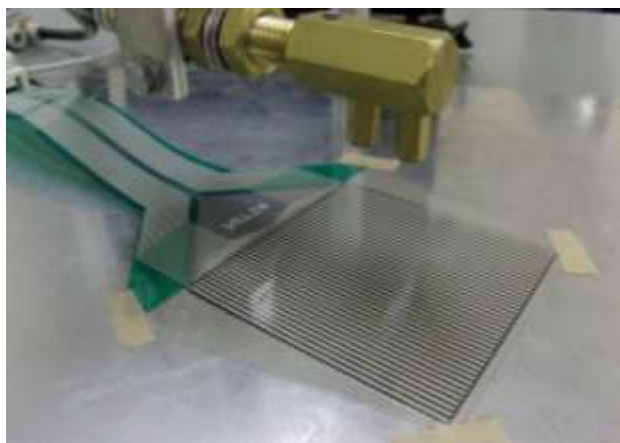



図４　面圧力測定システムのセンサ部

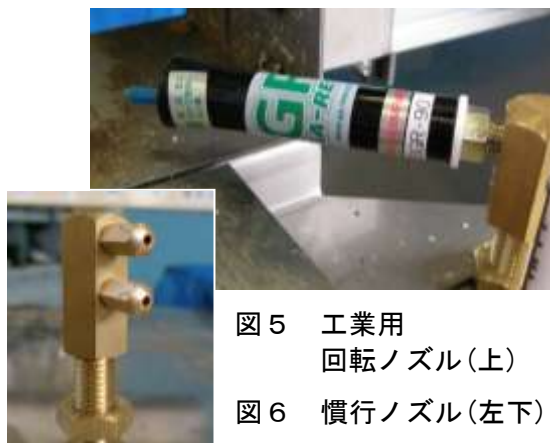



図５　工業用回転ノズル（上）

図６　慣行ノズル（左下）

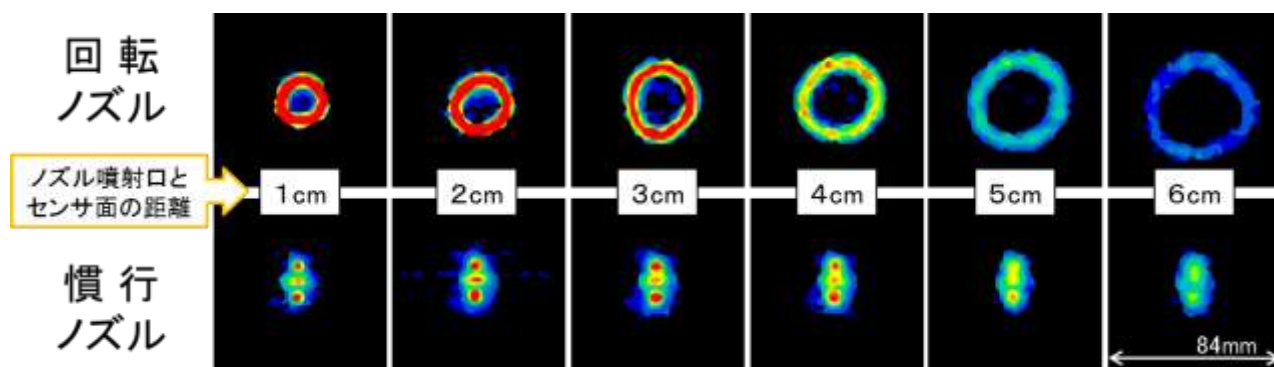
センサとノズル噴射口との距離を１～６cm の６段階に変化させて行った。その結果、慣行ノズルでは高い圧力の部分が狭い範囲に限られるのに対して、回転ノズルではその範囲がノズル噴射口とセンサ面の距離の増大に伴って円周状に広がる様子が明らかになった（図７）。また、回転ノズルでは高い圧力の部分が円周上を刻々と移動していることから、ネギ表面へ小刻みに打撃を与える効果があり、より効率的に皮むきができると考えられた。なお、チューブ終端の噴射口の回転周波数は空気圧 0.5MPa のときに約 70Hz であった。

上段：工業用回転ノズル「SGR-90」、下段：２頭口の慣行ノズル
※１　0.001MPa（青）から 0.05MPa 以上（赤）までを 13 階調に分けて表示。
※２　データ取得周期 100fps で３秒間計測した時のピーク圧力分布を表示。
※３　圧縮空気の圧力は 0.5MPa。

図７　ノズルによる噴射圧力分布の違い

### ３．太さ判別技術の検討

長ネギは軟白部の太さが出荷規格の一つになっており、産地毎に若干数値は異なるがミリメートル単位で細かく規定されている。しかし、太さ判別は作業者の目視で行われることが一般的であり、熟練を要するとともに、作業者毎に判別結果がバラつくおそれがある。

一方、工業分野では丸い管などの太さを測るセンサとして、投光部から照射した帯状のレーザー光が受光部に届く前に、物体がどの程度光を遮ったかを調べて太さを計算するレーザー式外径計測器が利用されている。この計測器は測定精度が高いが、価格が高く農業用機器に利用することが難しい。

そこで、より安価なファイバセンサを複数個用いた太さ判別技術を考案した。基準面から出荷規格で定められた数値毎にセンサを縦方向に並べて配置して、ネギの太さにより投光部からの光をどこまで遮光するかによって太さ判別を行う（図８）。これを皮むきノズルの後ろに設置することで、皮むきと同時に太さ判別ができる。

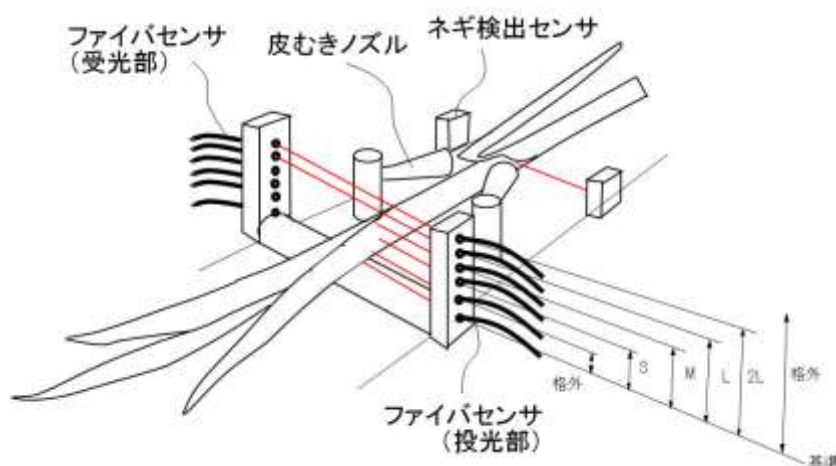



図８　ファイバセンサを用いた太さ判別技術

## ４．試作１号機

図９　試作１号機

皮むき部と太さ測定部、判別結果表示部で構成した試作１号機を製作した（図９）。皮むき部に工業用回転ノズル(ガリュー SGR-90)と慣行ノズル、また、太さ測定部にレーザー式外径計測器（キーエンス VG-035）とファイバセンサ（キーエンス FS-V31,32）を各々取り付け可能な構造とし、太さ判別結果はランプ表示で作業者に知らせる。試作１号機を用いた機能確認試験を実施して、皮むき作業能率や太さ判別精度､取扱性などを調査した。

(1)皮むき作業能率と空気使用量

一定量の空気（0.5MPa、20℃・１気圧換算で約 180L）で処理できる本数を調査した結果、工業用回転ノズルで平均 9.7 本、慣行ノズルで平均 5.3 本であった。また、皮むき作業時間（圧縮空気の噴射時間）は回転ノズルで平均 3.0 秒/本、慣行ノズルで平均 4.0 秒/本であった。この結果、回転ノズルを用いることで皮むきに要する空気量を節減でき、かつ作業能率を向上できる見通しが得られた。

(2)太さ判別精度

太さ測定方式の違いによる判別精度を比較した結果、レーザー式外径計測器で正解率 82%、ファイバセンサ式で 85%とともに良好な判別精度であった。そのため、より安価なファイバセンサを用いた方式が有用であった。

(3)取扱性

皮むき作業はノズル先端付近を注視して行うため、太さ判別結果の表示部は皮むき部の周辺に設置することが望ましいと考えられた。

## ５．試作２号機

図 10　ネギ皮むき用回転ノズル

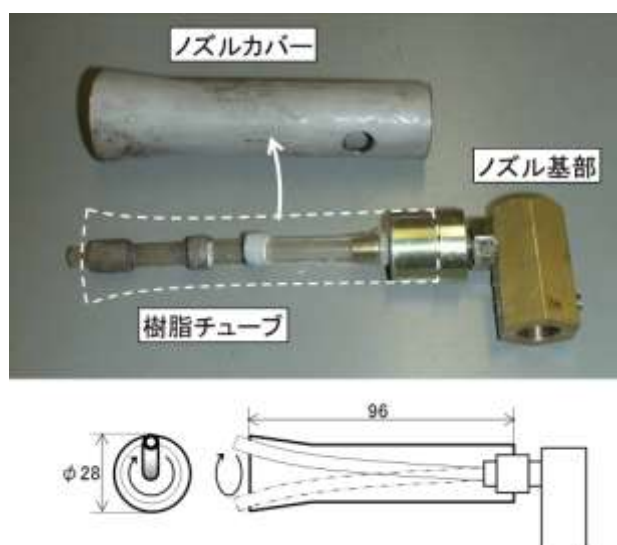
高能率で皮むきを行うためには、圧縮空気の噴射圧力とともにむいた皮を吹き飛ばす風量が必要である。そのため、ノズルのチューブ内径を拡大し、また、ネギ表面に付着した土砂の飛散によるノズル部材の摩耗を抑えるため、ノズルカバーをステンレスに、チューブの材料をウレタンゴムに変更したネギ皮むき用の回転ノズルを新たに開発した（図 10)。チューブ内径を拡大すると空気の瞬間流量は増加するが、圧縮空気の噴射時間が短くなるため、工業用回転ノズルと比べて皮むき作業能率が向上し、空気使用量も節減できる。

皮むき部にネギ皮むき用回転ノズル、太さ測定部にファイバセンサ、太さ判別結果をランプ表示と音声で作業者に知らせる機能を搭載した試作２号機（図 11）を製作した。試作２号機を性能試験に供試し、作業能率、空気使用量、太さ判別精度や作業時騒音を調査した。なお、対照機として市販機３機種を供試して、それぞれ比較を行った。

図 11　試作２号機

［試 験 日］2009 年８月 25 日～26 日

［試 験 地］能代市農業技術センター

［供試品種］夏扇パワー

［供 試 機］①試作２号機：ネギ皮むき用回転ノズル（チューブ内径 3.0mm）、開閉式遮音蓋なし
②市販機Ａ：M社 MZ-X にネギ皮むき用回転ノズルを装着、開閉式遮音蓋あり
③市販機Ｂ：M社 MZ-1、２頭口慣行ノズル（噴射口径 3.7mm）、高能率型の慣行機
④市販機Ｃ：M社 EMM、２頭口慣行ノズル（噴射口径 2.5mm）、普及型の慣行機

(1)皮むき作業能率と空気使用量

２号機を用いた性能試験の結果、高能率型の市販機Ｂと比較すると、皮むき作業能率が約 630 本/時と同程度であったが、空気使用量は最大 1/5 に節減できた。また、普及型の市販機Ｃと比較すると、皮むき作業能率は約 20%向上し、空気使用量は約 1/3 に節減できた（表１）。

(2)太さ判別精度

正解率は約 81%（68～92%）であった。また、判別結果を音声で作業者に知らせる機能は、皮むき終了と同時に音声を発するため、皮むき作業の妨げにならないことを確認した。

(3)作業時騒音

ネギ１本毎の最大音圧レベル（作業者耳元騒音）の平均を比較した結果、皮むき部の開閉式遮音蓋がない試作２号機では約 104dBA、遮音蓋がある MZ-X(改)では約 99dBA であり、遮音蓋の設置が作業時騒音の低減に有効であることを確認した（表１）。

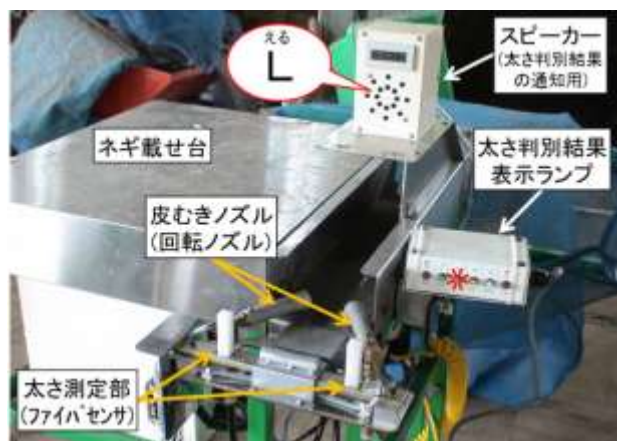



表１　２号機を用いた性能試験における作業能率、空気使用量と作業時騒音

| 供試機 | 供試ノズル | 皮むき作業能率（本/h） | 空気使用量（L/本） | 作業時騒音（dBA） | 開閉式遮音蓋 | 空気圧（MPa） | 供試本数 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 試作2号機 | 試作回転ノズル（φ 3.0×2本） | 623 | 9.8 | 104.0 | なし | 0.4 | 150 |
| 市販機 A | 試作回転ノズル（φ 3.0×2本） | 596 | 14.5 | 99.4 | あり | 0.4 | 80 |
| 市販機 B | 慣行固定ノズル（φ 3.7×2頭口×2本） | 633 | 49.8 | 102.3 | なし | 0.4 | 80 |
| 市販機 C | 慣行固定ノズル（φ 2.5×2頭口×2本） | 521 | 31.3 | 103.2 | なし | 0.43 | 81 |

※2号機の作業能率は太さ判別を含んでいるが、市販機A～Cでは太さ判別を行っていない。

６．試作３号機

２号機を用いた性能試験の結果を受け､皮むき部にネギ皮むき用回転ノズルと開閉式遮音蓋を備え、太さ測定部にエリア式ファイバセンサを載せた試作３号機を製作した（図 12)。１号機と２号機の太さ測定部は複数個のファイバセンサを縦方向に並べて配置したが、産地毎に異なる出荷規格や数値の変更に対応することが難しかった。そこで本来は物のあるなしの検出に利用するエリア式ファイバセンサに着目し、投光部と受光部との間でネギが光を遮ることで受光量（電圧値）が減少した割合をネギの太さに換算する方法をとることとした。太さ判別の基準値は制御部のタッチパネルで容易に変更できるようにした。また、空気使用量を計測する流量計、処理本数を計測するカウンタ機能なども組み込んだ。

試作３号機を秋田県内のネギ生産農家における現地実証試験に供試して、作業能率、空気使用量、電力消費量（三相)、太さ判別精度や取扱性を調査した。なお、対照機として各調査農家で普段使用している慣行の皮むき機を供試して比較を行った。

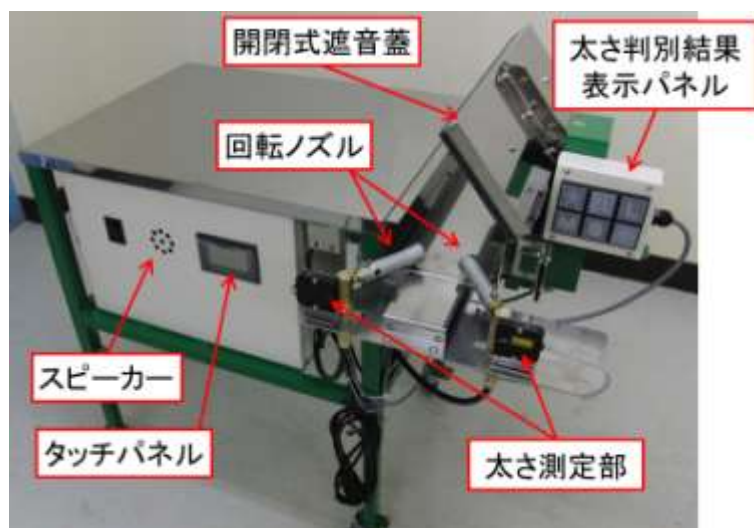
[試験期間]2010 年７月 26 日～11 月 18 日

[試 験 地]秋田県内のネギ生産農家　３軒（他数カ所で試験利用あり）

[供試品種]夏扇パワー、夏扇３号、夏扇４号 他

[供 試 機]①試作３号機：ネギ皮むき用回転ノズル（チューブ内径 3.0mm）

②慣行機　農家Ａ・Ｃ　Ｍ社 MED-NL：１頭口の慣行ノズル（噴射口径 3.5mm）

農家Ｂ　　Ｍ社 MED：２頭口の慣行ノズル（噴射口径 2.3mm）

【装置諸元】

[機体寸法]
幅 100cm、奥行 65cm、高さ 80cm
[機体質量]
48kg
[皮むき部]
回転ノズル×２本、開閉式遮音蓋
[太さ判別部]
エリア式ファイバセンサ（投光部・受光部）
判別結果表示パネル、スピーカー
[適応コンプレッサ]
2.2kW（3.0PS）以上

図 12　試作３号機

(1)皮むき作業能率と空気使用量、電力消費量

試作３号機を用いた実証試験の結果、皮むきの作業能率は慣行機と比べ８～27％向上した。また、空気使用量は慣行機の 46～83％に節減され、単位空気量当たりの処理本数に換算すると慣行機の 1.2～2.2 倍に増加することがわかった。空気使用量の減少に伴い、エアコンプレッサの稼働に要する電力消費量（三相）も減少し、慣行機と比べ 33～72％に節減可能であった（表２)。

(2)太さ判別精度

機械による太さ判別と目視による太さ判別の精度を比較した結果、試作３号機の正解率は平均 63%（56～74%）であり、熟練者の目視判別精度の平均 68%（62～72%）とほぼ同程度であった。

(3)取扱性

被験者にアンケート調査を行った結果、回転ノズルを用いた皮むき作業は、作業性の良さ、皮むけの仕上がり具合などで高い評価を受けた。回転ノズルは慣行ノズルと異なりネギ表面の広範囲に圧縮空気が作用するため、皮むき作業中にネギが左右に振られず、ノズルに当たって損傷することが少ないことが一因であると考えられた。

一方、太さ判別機能については、熟練者による目視判別と同程度の精度が得られるため、誰が作業をしても判別結果がバラつかないことが評価されたが、むいた皮が太さ測定センサに引っかかり誤作動を起こすなど作業性改善の要望も出された。

表２　３号機を用いた実証試験における作業能率、処理本数と電力消費量

| 項目 | 皮むき作業能率（本/h） | | | 単位空気量当たりの処理本数（本/100L） | | | 単位本数当たりの電力消費量（kWh/100本） | | | 調 査 条 件（3号機 / 慣行機） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 被験者 | 3号機 | 慣行機 | 慣行比 | 3号機 | 慣行機 | 慣行比 | 3号機 | 慣行機 | 慣行比 | コンプレッサ仕様 | 空気圧設定 | 作業日数 |
| A | 730 | 604 | 1.21 | 4.7 | 2.1 | 2.20 | 0.47 | 1.43 | 0.33 | 5.5kW (7.5PS) | 0.45MPa / 0.6MPa | 22日（178h） / 8日（78h） |
| B | 506 | 498 | 1.02 | 7.0 | 5.9 | 1.20 | 0.44 | 0.61 | 0.72 | 2.2kW (3.0PS) | 0.5MPa / 0.5MPa | 21日（134h） / 21日（136h） |
| C | 388 | 296 | 1.31 | 6.1 | 4.3 | 1.42 | － | － | － | 2.2kW (3.0PS) | 0.3MPa / 0.2MPa | － |

※単位本数当たりの電力消費量は、調査期間中の電力消費量の総和を処理本数の総和で除して算出した。
※太さ判別は開発機、慣行機ともに目視で行った。

図 13　現地実証試験の様子

図 14　慣行皮むき機（農家Ａ）

## おわりに

開発機は2011年春に市販化予定である。なお、ネギ皮むき用回転ノズルは、ニンニク調製機（塊根分離機）で用いられ2009年秋に市販化された。

開発機を用いることで皮むき作業能率は最大30%程度向上し、空気使用量を最大半減させることが可能である。そのため、より低馬力のコンプレッサでも皮むき作業が可能となり、新規導入時の初期投資を軽減できる。また、エアコンプレッサの稼働に要する電力消費量を最大1/3に節減できることから、生産費の軽減にも寄与できると考える。

これまで生産労働時間の約半分を占めてきた調製作業を省力化し、また、熟練を要することなく誰でも調製作業に従事できるようになることから、生産規模の拡大や雇用労力の活用といった場面で開発機が活躍することを期待したい。

なお、本研究の実施に当たっては、秋田県農林水産技術センター、実証試験対象農家、(株)マツモトなど関係各位に多大なるご協力を賜った。ここに記して改めて感謝申し上げたい。

## 参考文献

１）藤岡修ら(2009)：作業能率向上と空気使用量節減が可能な長ネギ皮むき用回転ノズル、平成21年度 共通基盤 研究成果情報［技術・普及］
http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2009/14brain/brain09-04.html(参照2011年1月20日)
２）大森定夫ら(2009)：ネギ調製機、特開2011-004669
３）藤岡修(2010)：高効率ネギ調製機の開発、農耕と園芸、2010(8)、18-22
４）藤岡修(2009)：高効率ネギ調製機の開発、機械化農業、2009(11)、22-25
５）平成20年度～平成22年度事業報告、生研センター

# 農業機械の安全対策に関する研究　ー安全鑑定基準の見直し

特別研究チーム（安全）　冨田宗樹　杉浦泰郎　土師健　塚本茂善　皆川啓子　原田一郎

## はじめに

農作業死亡事故のうち、65 歳以上の高齢者によるものは 79%（平成 20 年）を占め[1]、その減少が求められている。また、女性は一般に小柄で筋力も弱いものの、農業就業人口の 53%、基幹的農業従事者の 44%（平成 21 年）を占め[2]、農業の中で重要な役割を果たしている。従って、高齢者や女性が安全に作業できるように、農業機械の運転･操作装置や安全装置を改良していくことが重要である。

これらの装置については、生研センターにおいて、安全鑑定基準、解説[3]および内規（以下、安鑑基準等と総称）として要件が定められている。そこで、これらの要件を、高齢者・女性の実態により整合した内容に見直すことにより、農業機械作業事故が軽減されることが期待できる。

本研究は、このような安鑑基準等の見直しに反映させることを目的に、主要な農業機械の安全装備と、農業機械操作に関連した高齢･女性農業者の身体機能の現状を調査･検討したものである。以下、その結果を報告するとともに、それから導かれる、今後必要と考えられる改善方策について述べる。

## １．背景

### １）高齢者・女性による農作業事故の現状

農林水産省生産局の報告によると、農作業による死亡事故（以下、農作業事故）は年間約 400 件発生しており、その約 70%が農業機械作業中の事故である。年齢階層別割合をみると、65 歳以上が 70～80%を占め、高齢者での多発傾向がある（図１）。また、今日の日本農業において、女性は重要な役割を果たしており、これに伴って、農作業死亡事故の約 15%を占める等、農業機械作業事故の被害者となる危険性も生じている。従って、農作業事故の減少を図る上では、高齢・女性農業者の事故を抑止する対策が不可欠である。

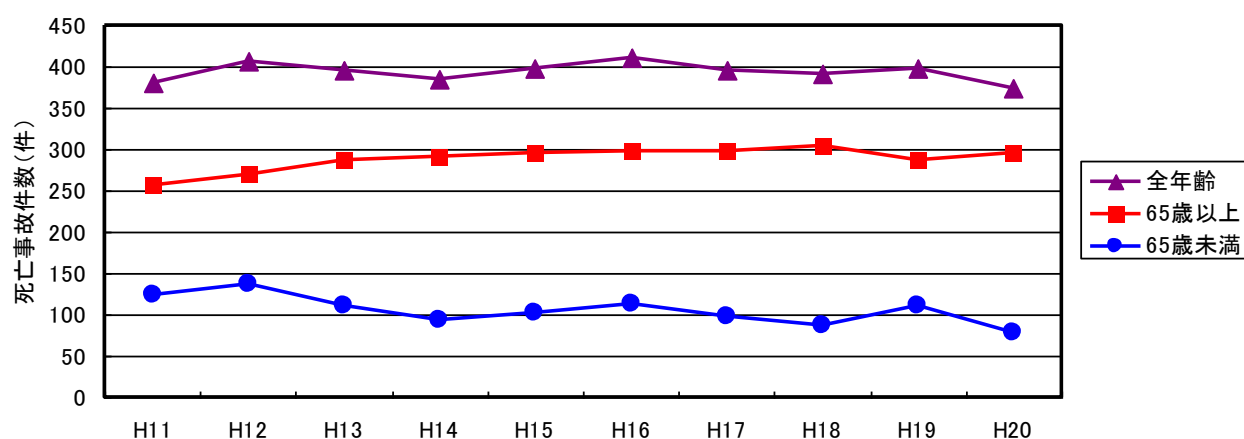



図１　農作業死亡事故の年齢階層別件数

### ２）高齢者・女性を考慮した安全対策の必要性

このように、高齢者の農作業事故が多発している要因の一つとして、高齢者の身体機能、具体的には、筋力等の身体能力、視力等の認知能力およびとっさの判断力等、が成人男性に比較して

低下していることが挙げられる。既存の調査[4]では、70 歳男性は 50 歳男性に比較して、平均して身長が約 7cm、握力が約 100N 低いとの結果も報告されている。これより、高齢者の農作業事故の減少を図る方法の一つとして、「比較的身体機能の低い農業者における安全性を改善する」というアプローチが成立し得る。

一方、同様に、身体機能が一般的に成人男性より低い群として、女性がある。平成 21 年には、農業就業人口の 53%が女性であるが、上記調査によれば、50 歳女性は 50 歳男性に比較して、平均して身長が約 13cm、握力が約 150N 低い。従って、「比較的身体機能の低い農業者の安全性改善」にあたっては、女性農業者も対象に含めることが合理的である。

ここで、現状の農業機械の安全対策に目を転じてみると、安鑑基準等では、乗用型農業機械における乗降口のステップの高さ等の機械各部の寸法や、ペダル等の操作力等について、数値基準が設けられている。これらは、ISO 等の各種規格や試験結果等に基づいて制定されているが、制定時点においては、今日ほどの高齢・女性農業者の増加は予期できず、また、これら農業者に関するデータ蓄積もなかった。従って、必ずしも高齢者・女性を包含した基準とはなっていないと考えられる。

このことから、今日の農業機械においては、安鑑基準等に沿った安全対策が施されていながら、使用する農業者の身体機能が想定範囲内にないために、その対策が必ずしも十分な効果を発揮できていない状況が発生し得る。例えば、小柄で筋力の弱い高齢農業者が使用した際に、ブレーキペダルがその農業者にとって遠くかつ重かったために、十分な制動力が得られなかったといったケースである。

従って、高齢・女性農業者の事故を減少させるためには、今後、安鑑基準等をこれら農業者の実態に整合したものへと可能な限り見直していくことが必要である。

### 3）調査の必要性

一方、現状では、農業機械および高齢・女性農業者のいずれに関しても、十分な検討資料が得られているとは言い難い。

まず、農業機械については、現状の安全鑑定では安鑑基準等への適否が確認されているのみであり、必ずしも各部の詳細な数値データが得られていない。一方、高齢・女性農業者に関しては、上述のような高齢者または女性全般を対象とした基礎的な身体機能に関するデータこそ存在するものの、これらと農業者が行う農業機械操作との整合性は検証されていない。

従って、安鑑基準等の見直しにあたっては、農業機械において身体機能が安全性に影響を与えると考えられる部位の現状と、それらの認知や操作に関係する農業者の身体機能の実態を、ともに調査する必要がある。

## ２．目的

本研究の目的は、このような現状を踏まえ、高齢者・女性をも包含した農業機械の安全対策を明らかにし、安鑑基準等の見直しに向けた提言を行うことである。

具体的には、第１に、乗用トラクタ（以下、トラクタ）、自脱コンバイン（以下、コンバイン）等の主要な農業機械における運転・操作装置のうち、運転者の身体機能に関係する事項について、実態を把握することである。

第２に、農業機械の運転・操作に関係する、高齢・女性農業者の身体機能について、実態を把握することである。

第３に、上記２つの結果を比較、検討し、必要な安全対策を明らかにすることである。

## ３．方法

### １）研究手法および対象とした部位

本研究の手法は以下の通りである。まず、高齢・女性農業者の身体機能を考慮した場合に、安鑑基準等の見直し、新設の検討が必要となると考えられる運転・操作装置を抽出した。この抽出にあたっては、過去に実施した農業者調査および検査・鑑定での知見を参考にした。また、検討の手法は、上述の目的に沿って、主要農業機械と高齢者・女性を含む農業者の実態をそれぞれ把握し、その結果を比較することとした。そのため、上述の方法により抽出した部位から、このような手法が可能と考えられたものを選定し、研究対象とした。

具体的には以下の部位である。

①最下段ステップ高さおよび乗降口の手すり高さ

②ブレーキペダル位置および操作力

③運転・操作装置の表示（以下、操作表示）および安全標識の文字サイズ

なお、将来的な研究の資料とするため、実機および農業者の調査において、操作表示の視認性等の調査も同時に実施しているが、本稿では割愛する。

### ２）最下段ステップおよび手すり

安鑑基準等において、最下段ステップの高さは 550㎜ 以下と定められている。また、手すりに関しては、「安全かつ容易に乗降できるよう」設置することを求めているが、高さに関する数値基準は設けられていない。そこで、本研究では、この基準の高齢者・女性への適応性を検討した。

まず、トラクタ（56 型式）、コンバイン（10 型式）、田植機（11 型式）およびスピードスプレーヤ（以下、ＳＳ）（６型式）（以下、主要農業機械と総称）の計 83 型式を供試し、最下段ステップの地上高を測定した（図２）。また、そのうちコンバインおよびキャビン仕様のトラクタについて手すりの高さを測定した（以下、実機を供試した一連の測定を「実機調査」とする）。

他方で、全国 14 県の農業者のべ 179 名（女性 54 名、65 歳以上男性（以下、対象男性）48 名、65 歳未満男性（以下、非対象男性）77 名）を被験者として、次のように関連する身体機能を調査した（以下、農業者を被験者とした一連の調査を「被験者調査」とする）。まず、右手でポールを保持した状態で、右足を楽に上がるところまで上げてもらい、その際の靴底の地上高（以下、足上げ高さ）を測定した（図３）。次に、乗用型機械のステップを模した、高さの異なる踏み台とこれに立てたポールを用い、踏み台を昇降する際に手すりを把持した位置の地上高（以下、握り高

さ）を測定した（図４）。踏み台高さは300,400,500mmとし、把持位置の基準は人差し指とした。

なお、被験者調査の地域および被験者の選定は、（社）日本農業機械化協会、全国農業機械士協議会および各県の機械士協議会に依頼した。

最後に、実機調査と被験者調査の結果を比較し、安鑑基準等の改正または新設の必要性について検討した。

Ａ：最下段ステップ高さ
Ｂ１、Ｂ３：手すり上端高さ（左右）
Ｂ２、Ｂ４：手すり下端高さ（左右）
Ｃ、Ｄ：ペダル位置
Ｅ：座面高さ
Ｆ：ペダル操作力
SIP：座席基準点

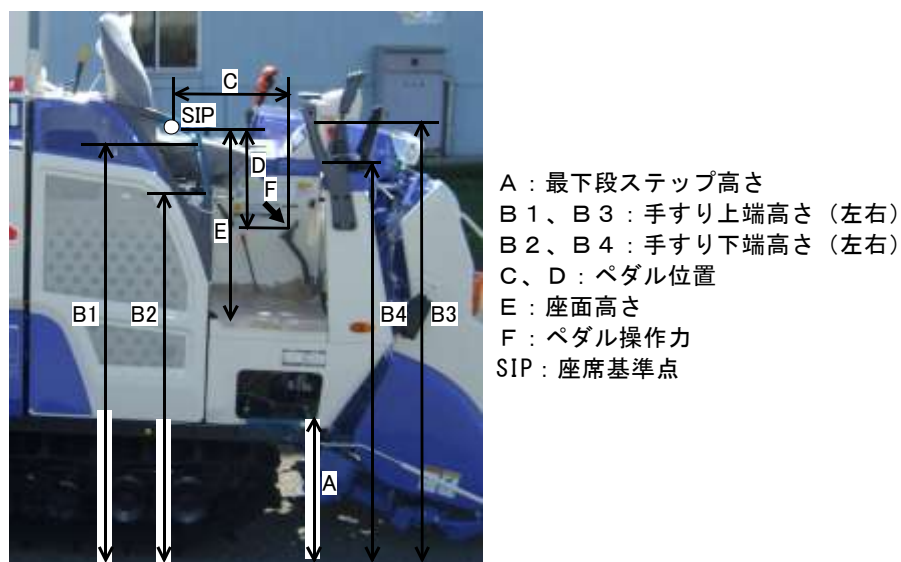



図２　実機調査の測定項目

図３　足上げ高さの測定方法

図４　握り高さの測定方法

３）ブレーキペダル位置および操作力

安鑑基準等において、ペダルの操作力の上限は490Nとされており、また、ISO15077:2008にお

ける上限値は450Nである[6]。そこで、これらの高齢者・女性への適応性を検討した。

まず、実機調査を、上記２）の供試機において実施し、ブレーキペダルの位置を、非操作時および操作時について測定した。原点はSIP（座席基準点）とした。ただし、座席の位置は、小柄な作業者への適応性を検討するため、最前・最下とした。また、同時に、フートプレートからの座面の高さを測定した。

他方で、被験者調査を、上記２）と同じ被験者において実施した。測定は、着席状態において、ペダルを模して設置した踏力計（日計電測 LP-100KC105）を右足または左足で踏む方法で行った（図５）。データはアンプ（日計電測 AS-110P）を通じて、データロガー（グラフテック GL200AまたはオムロンZR-RX20）に記録し、サンプリング間隔は100msとした。測定ペダルの位置は、中心線から座席の中心線までが、左右いずれも250mmとなるようにした。座席の前後方向の位置は無段階、座面高さおよびペダルの傾きは３段階で調整可能とした。本調査では、２つの異なった状況での踏力を測定した。まず、全ての被験者に、「無理なく踏み続けられるような力で踏む」よう指示し、その際に継続的に発揮される力（以下、持続踏力）を測定した。これに加えて、被験者のうち128名（対象男性31名、女性38名を含む）には、「最も強い力で踏む」よう指示し、その際に発揮される力の最大値（以下、最大踏力）も測定した。

最後に、実機調査と被験者調査の結果を比較し、安鑑基準等の改正の必要性について検討した。さらに、ペダル位置、座面高さ等については、「農業機械のユニバーサルデザイン指針」[4]（以下、指針）を参照し、その推奨値による検討も併せて行った。その際、検討対象とする農業者の身長は、農業者以外を含む60歳以上女性の平均値に相当する150cmとした。

### ４）操作表示および安全標識の文字サイズ

操作表示について、安鑑基準等では、「作業者が容易に理解できる言葉、文字等を使用する」とされているが、文字サイズは規定されていない。安全標識についても、文字サイズの数値基準は設けられていない（ただし、JISB9100では「16ポイント程度以上が望ましい」とされている[7]）。そこで、これらの現状と高齢者・女性への適応性を検討した。

まず、上記２）と同様の供試機において、主要な操作表示の文字サイズを、印刷見本との比較、または実測により測定した。また、同様に、主要な安全標識の文字サイズを測定した。

他方で、全国15県の農業者のべ255名（内、対象男性84名、女性83名）を被験者とし、歩行型機械を模したモデル（以下、歩行型モデル）を用いて、測定を行った（図６）。この歩行型モデルは、生研センターが所有する歩行型トラクタの調査結果に基づき、車輪とハンドルとの位置関係および作業状態におけるハンドル保持力が実機とほぼ同じとなるようにしたものである。まず、被験者が、最も作業しやすいとした保持位置で静止してもらい、その際のハンドルの中心高さ、立ち位置などを測定した。その後、操作部を模した板上に異なるサイズの文字を配置し、容認可能な最小サイズを選択する方法で、調査を行った。なお、文字サイズの選択肢は、10、12、16、24、36ポイントとした。

図５　踏力の測定方法

図６　歩行型モデルでの調査

## ４．結果および考察

### １）最下段ステップおよび手すり

①実機調査

供試機の最下段ステップ高さは、機関出力 40kW 以下のトラクタの一部とＳＳを除き、基準上限値（550mm）から-100mm 以内の範囲にあった（図７）。手すり高さは、トラクタとコンバインの間での差異は明らかではなかったが、型式による差異が認められた（図８）。これらから、ＳＳを除く主要農業機械では、最下段ステップおよび手すり高さの範囲は、機種によらず同様の状況であると考えられた。

②被験者調査

足上げ高さの平均値は、女性、非対象男性、対象男性の順に大きくなった（表１）。また、女性と後者２群とは有意差（$p<0.01$）が認められ、非対象男性と対象男性の間には有意傾向（$p<0.1$）があった。容易に昇降できる段差の高さを検討する上では、足上げ高さのより低い農業者に着目する必要があることから、女性のデータにより検討するべきであるといえる。

踏み台昇降時の握り高さは、女性、対象男性および非対象男性のいずれにおいても、踏み台が高くなるほど有意（$p<0.05$）に大きくなった（図９）。また、上りと下りでは、下りの方が握り高さが大きく、踏み台高さ 400mm の対象男性を除き、有意差があった。被験者の群間では、女性、対象男性、非対象男性の順に握り高さは大きくなっており、踏み台高さ 500mm においては有意差（$p<0.05$）が認められた。従って、踏み台の高さ、昇降の別および年齢階層・性別によって手すりを持つ位置は異なるといえる。望ましい手すりの位置を検討する上では、より低い位置を握る農業者において手が届くものとする必要があることから、女性の昇段時のデータを用いるべきと考えられる。

③安鑑基準等の検討

上記②の結果に基づき、実機調査の結果と、被験者調査における女性の結果を比較した。なお、比較にあたっては、被験者調査結果の第１四分位数および第３四分位数を用いた。これは、分布を下位から 1/4（第１四分位数）および 3/4（第３四分位数）に分割する値である。従っ

て、この範囲内には、中央部に位置する被験者の半数が含まれることになる。

その結果、被験者女性の足上げ高さの第３四分位数は、基準等の最下段ステップ高さ（550㎜）より小さく、主要農業機械も SS を除きこれを超えていた。従って、大半の女性農業者は、SS を除く主要農業機械には、足を上げるのみでは乗車することが困難と判断できた。

これを改善するためには、ステップの高さを下げることが第１選択肢であるが、不可能な場合には、手すり等の補助手段を整備することが必要である。

一方、ほとんどの主要農業機械は、被験者女性の握り高さの第１四分位数から第３四分位数の範囲をカバーしていた。しかし、一部の型式の手すり位置はそれより高く、手が届きにくいものと判断できた。

以上の結果より、ステップ最下段高さおよび手すり高さについては、安鑑基準等の見直しおよび新設が必要と考えられた。

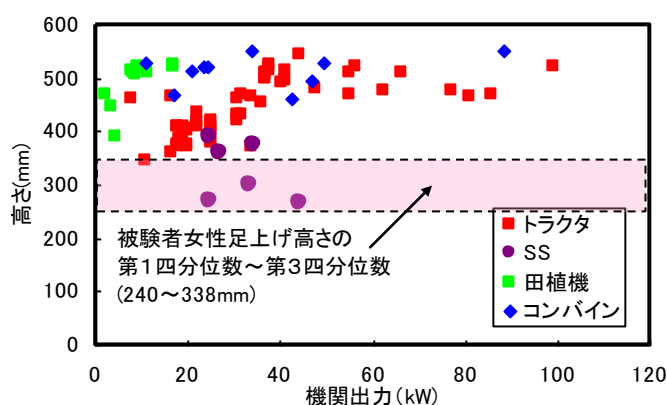



図７　主要農業機械の最下段ステップ高さ

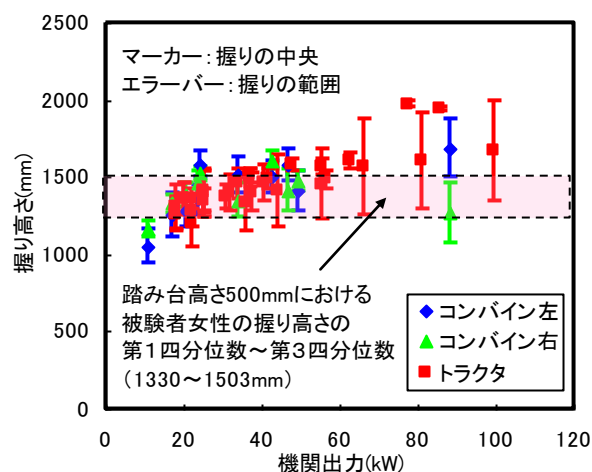



図８　トラクタおよびコンバインの手すり高さ

表１　被験者調査での足上げ高さ

| | 女性 | 対象男性 | 非対象男性 |
|---|---|---|---|
| 平均 | 286 ab | 377 a | 345 b |
| 標準偏差 | 82 | 102 | 99 |
| 第1四分位数 | 240 | 310 | 290 |
| 中央値 | 270 | 380 | 340 |
| 第3四分位数 | 338 | 440 | 420 |

単位：mm

a, b：１％水準で有意差あり

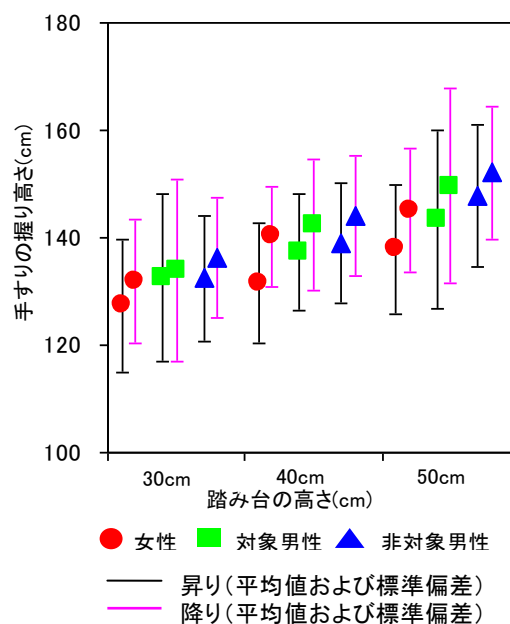



図９　被験者の握り高さ

### ２）ブレーキペダル位置および操作力

①実機調査

ブレーキペダルの位置は、コンバイン以外では概ね同様であったが、コンバインでは異なっていた（図 10）。操作力は、概ね 250N 以下であったが、田植機の一部およびコンバインではそれを上回る型式があった（図 11）。コンバインにおいて他機種より操作力の大きな群があったが、これはミッション構造の差異に起因すると考えられた。

②被験者調査

最大踏力の平均値は、女性 248N(SD=85.5)、対象男性 316N(SD=99.9)、非対象男性 433N(SD=168)であった。女性と対象男性の間には有意差（$p<0.05$）があった（図 12）。また、持続踏力は、それぞれ最大踏力の 48％、60％および 50％であった。このことから、ペダルの操作力を検討する上では、女性のデータを用いるべきであるといえる。

③安鑑基準等の検討

ブレーキペダル位置について、指針を参照し、身長 150cm の農業者に対する適応性を検討したところ、コンバイン以外の機種では、座席をより前方に配置する、すなわち、前後方向の調整範囲を拡大する必要があった。これに対し、コンバインでは、上下方向の距離を縮小する必要があった。その原因としては、デバイダの視認性を確保するために、座面高さが他機種に比較して高いことが挙げられた（図 13）。このことは、コンバインでは、作業性確保のため目の高さを一定以上とする必要があることと関連しており、座面を下げることによりペダルとの距離を縮小させる方法は採用することが困難と考えられた。このことから、コンバインのペダル操作性の改善には、操作方法を含む機種独自の方策が必要と考えられた。

ブレーキ操作力と踏力の比較では、被験者女性の最大踏力の平均値は安鑑基準等（490N）の約半分であり、コンバインを除く主要農業機械も概ねこれを下回っていた。従って、安鑑基準等の座席調整範囲およびペダル操作力について、構造や作業性等の機種の特性に応じた見直しが妥当と考えられた。

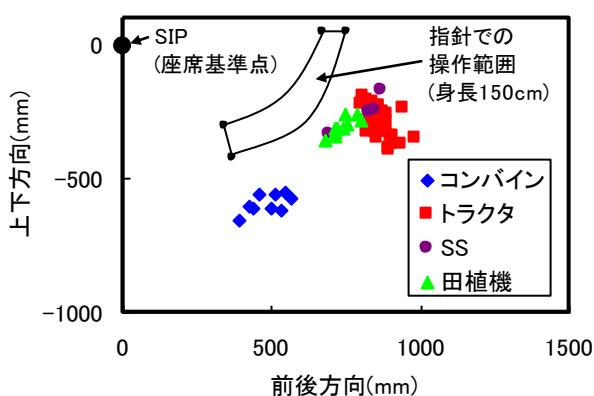



図 10　主要農業機械のブレーキペダル位置（操作時）

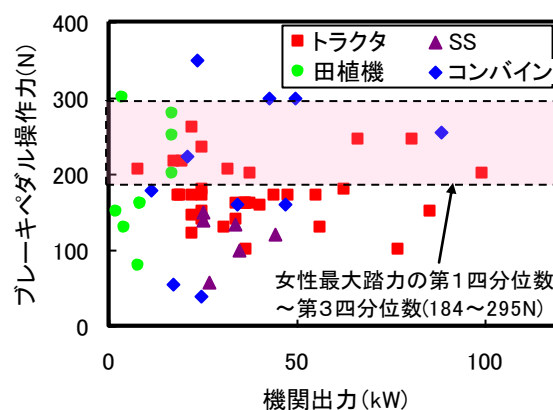



図 11　主要農業機械のブレーキペダル操作力

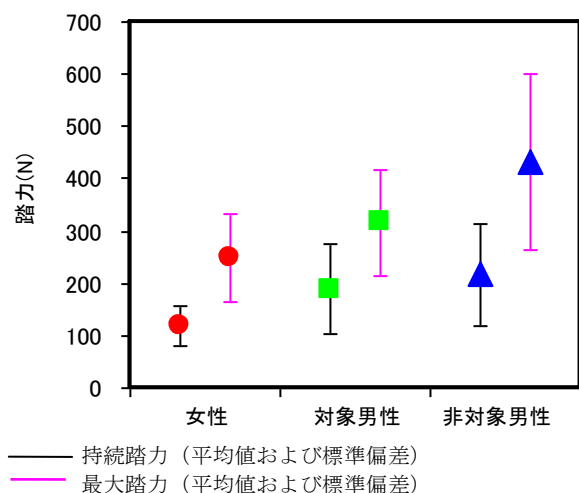



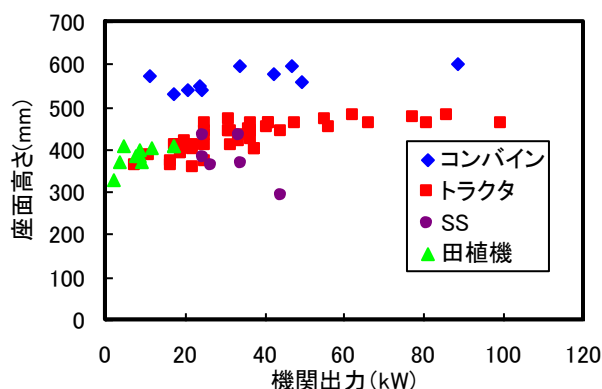
図 12　被験者の踏力



図 13　主要農業機械の座面高さ

### 3）操作表示および安全標識の文字サイズ

①実機調査

操作表示における文字サイズは、部位による差が大きかったが、概ね 20 ポイント以上であった。一方、安全標識の記述部分においては、16 ポイント未満が過半であった（図 13)。また、いずれにおいても、機種による差は認められなかった。

②被験者調査

12 ポイント以上で全回答者の 38%､16 ポイント以上で 78%が許容しうると回答した(図 14)。従って、16 ポイント以上であれば、概ね許容されるものと判断できた。なお、非対象男性、女性、対象男性の間で有意差は認められなかった。

③安鑑基準等の検討

操作表示においては、文字サイズは現状で概ね許容可能と考えられた。他方、安全標識については、文字サイズを拡大する必要があると判断できた。しかし、安全標識の大きさには、機械の構造上制限があるため、文字の拡大を行うためには、様式（JISB9100 準拠）を含む、内容および記述方法の変更を検討する必要があると考えられた。

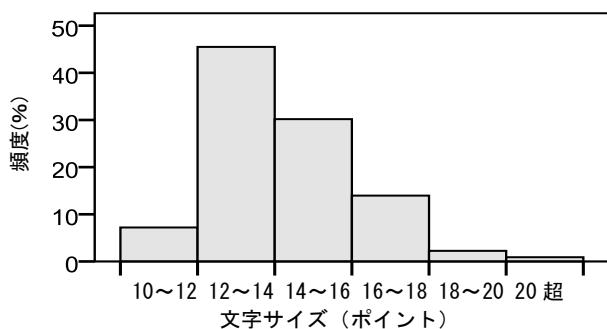



図 13　主要な安全標識の文字サイズ

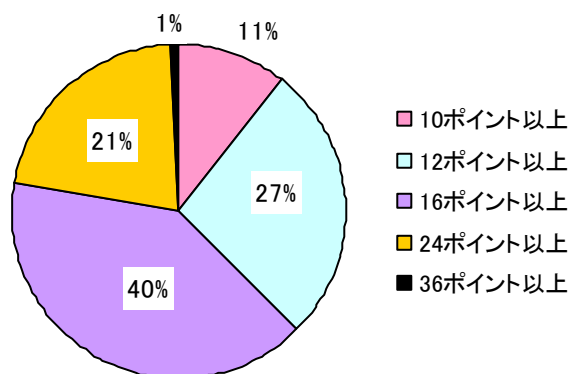



図 14　被験者が許容した文字サイズ

## ５．結論

以上の結果から、農業機械安全装備の高齢者・女性への適応性を改善する方策を、表２のように提言することができる。ただし、その実現にあたっては、作業性、構造上の制約および受容可能なコスト等について、さらに検討を進める必要がある。

表２　高齢・女性農業者を考慮した際の現状の安全対策における問題点と改善方策

| 項　目 | 問題点 | 改善方策 | 今後の課題 |
|---|---|---|---|
| ステップ高さ | 現行基準は高齢者・女性には高過ぎ | 基準値縮小／補助手段規定 | 作業性、収納方法 |
| 手すり高さ | 必ずしも握りやすい高さにない | 数値基準の新設 | 実装方法、配置、形状等 |
| 座席調節範囲 | コンバイン以外：前後方向調整量不足<br>コンバイン：上下方向調整量不足 | 調整範囲拡大 | 実装方法、コスト<br>コンバインでは作業性 |
| ペダル操作力 | 内規が農業者・機械の実態から乖離 | 基準値の低減 | コンバインへの対策 |
| 文字サイズ | 数値基準なし→安全標識では過小 | 最低サイズの制定 | ラベルの大きさに制約 |

## おわりに

本研究により、農業機械を高齢者・女性にとってより安全なものとするためのいくつかの方策を提言することができた。今後は、この成果を農業機械の検査・鑑定において参照するとともに、安鑑基準等の見直しにおける資料として活用していく。

なお、本研究の実施にあたっては、(社) 日本農業機械化協会、全国農業機械士協議会および各県の農業機械士協議会の御厚意を賜った。この場を借りて、改めて深謝申し上げる。

## 参考文献

１）農林水産省生産局（2010）：平成２０年に発生した農作業死亡事故について、平成 22 年４月８日プレスリリース、pp7
２）農林水産省（2009）：平成 21 年農業構造動態調査報告書、農林水産省、p50
３）生研センター（2010）：平成 22 年度　安全装備の確認項目と安全鑑定基準及び解説、生研センター、pp22
４）首都大学東京体力標準値研究会（2007）：新・日本人の体力標準値Ⅱ、不昧堂出版、p22-25,162-165
５）菊池豊、中野丹、岡田俊輔ら（2007）：農業機械のユニバーサルデザイン指針－１、平成 19 年度試験研究成績、生研センター、p1-41
６）ISO (2008)：ISO15077:2008, Tractors and self-propelled machinery for agriculture – Operator controls – Actuating forces, displacement, location and method of operation、ISO、pp14
７）JIS(1994)：JISB9100　農業機械－表示に関する通則、日本規格協会、pp6

平成22年度　生研センター研究報告会

頒価1,318円（本体価格1,255円＋消費税5%）

---

独立行政法人　農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
農　業　機　械　化　研　究　所

〒331-8537　埼玉県さいたま市北区日進町1-40-2
Tel. 048-654-7000（代）

---

印刷・発刊　平成23年3月10日